

**ANÁLISIS DEL RIESGO DE DESABASTECIMIENTO HÍDRICO ANTE EL CAMBIO
CLIMÁTICO DEL ACUEDUCTO COMUNITARIO DE MUNDO NUEVO**

ALEJANDRO HERRERA GONZÁLEZ

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL
PEREIRA
2018**

**ANÁLISIS DEL RIESGO DE DESABASTECIMIENTO HÍDRICO ANTE EL CAMBIO
CLIMÁTICO DEL ACUEDUCTO COMUNITARIO DE MUNDO NUEVO**

ALEJANDRO HERRERA GONZÁLEZ

Código: 1088325573

**Trabajo de grado para optar por el título de
Administrador Ambiental**

Director

JUAN MAURICIO CASTAÑO ROJAS

Ph.D. en Ingeniería

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL
PEREIRA**

2018

Nota de Aceptación

Firma del director

Juan Mauricio Castaño Rojas Ph.D.

Firma del Jurado

Pereira, junio de 2018

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Rosa González y mi padre Álvaro Herrera por ser mis guías, mis amigos y mi mayor apoyo en mi vida y mi proceso de formación profesional.

A mis hermanos por ser mis compañeros de vida, por brindarme su amor y ser mi fuente de felicidad.

A Juan Mauricio Castaño Rojas por ser un gran maestro en mi formación profesional y por su paciencia y colaboración en la elaboración de este proyecto.

A Laura Vizcaíno por ser mi apoyo durante todo mi proceso de formación profesional, por todo el amor que me brinda y los incontables momentos de felicidad.

A la Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua Potable de la Vereda Mundo Nuevo, por permitirme desarrollar este proyecto de grado.

A Norma Lili Castro por su amistad y el apoyo brindado en la elaboración del modelo.

A la Red Hidroclimatológico de Risaralda, por proveer toda la información pertinente para el desarrollo del proyecto.

A Héctor Jaime Vásquez, por brindarme su apoyo, conocimiento y pasión por la gestión del riesgo de desastres.

A mi maestro Santiago Restrepo Calle, por su amistad, su conocimiento brindado y por permitirme encontrar la pasión en los Sistemas de Información Geográfica.

A Olga Lucia Taborda, por ser una amiga incondicional y por brindarme momentos de completa felicidad.

A los integrantes del Grupo de Investigación en Ecología, Ingeniería y Sociedad, por ser compañeros amigos y fuente de apoyo en mi proceso de formación profesional.

Alejandro.

RESUMEN

El cambio climático representa sin lugar a dudas uno de los mayores retos a los que la humanidad deberá enfrentarse en el presente y futuro próximo, por lo cual gran parte de recursos mundiales se destinan a proyectos encaminados a la adaptación al cambio climático. Dentro de sus principales impactos se encuentran la degradación de ecosistemas, pérdida de biodiversidad, derretimiento de glaciares y el aumento de riesgo por desabastecimiento hídrico.

El agua potable se concibe como un derecho fundamental, por lo cual cada año se busca disminuir la población vulnerable que no posee acceso al recurso, donde los principales países sin acceso a este se encuentran en África, Asia y Latinoamérica.

En Colombia, la mayoría de comunidades vulnerables al desabastecimiento de agua potable, se encuentran ubicadas en los sectores rurales del país, y como resultado de lo anterior se establecen sistemas de acueductos comunitarios con el fin de satisfacer la demanda hídrica de la sociedad. Un caso particular que describe lo anterior es la vereda mundo nuevo del municipio de Pereira, en la cual se opera una asociación local para suministrar el servicio de agua potable.

Este sistema de acueducto fue seleccionado para generar un caso piloto de análisis de riesgo por desabastecimiento hídrico ante el cambio climático, a partir del uso de la modelación de escenarios futuros, contruidos a partir de la recolección de información tanto primaria como secundaria, y mediante el uso del software Water Evaluation And Planning, basados en la metodología Toma de Decisiones Robustas (XLRM).

Con base en lo anterior, se lograron establecer 96 posibles escenarios climáticos futuros, en un periodo de tiempo total de 23 años desde 2017 hasta 2040, a partir de los cuales se pudo determinar el riesgo de desabastecimiento hídrico para la vereda Mundo Nuevo, estableciendo un estado de riesgo crítico del 79.17% y un favorable del 11.46% como resultado de las múltiples relaciones generadas entre las condiciones climáticas actuales, las incertidumbres futuras y las estrategias establecidas para la adaptación al cambio climático.

Palabras claves: riesgo, cambio climático, modelación, acueductos

ABSTRACT

Climate change represents, without a doubt, one of the most significant challenges that humanity will face in the present and near future, which is why a large part of the world's resources are allocated to projects aimed at adapting to climate change. Among its main impacts are the degradation of ecosystems, loss of biodiversity, melting of glaciers and decreased access to drinking water.

Drinking water is a fundamental right by which each year society seeks to reduce the amount of vulnerable population with no access to it. Countries in Africa, Asia, and Latin America still have communities without full access to drinking water in an acceptable quality, quantity, and continuity.

In Colombia, the majority of communities vulnerable to this situation live in rural areas of the country. They have then established community water systems to meet their local water demand. A case that describes this situation is the rural community of Mundo Nuevo, in the municipality of Pereira, that operates a local association for supply a drinking water service.

This system was selected as a pilot case to estimate the risk of water shortage due to different climate scenarios that determine different water supply conditions were contrasted with different water demand scenarios to estimate the risk of water shortage. The methodological approach to build these scenarios used the Robust Decision-Making Methodology (XLRM), with the use of Water Evaluation and Planning software.

Based on the above, it was achieved to establish 96 possible future climate scenarios, in a total period of 23 years, and was possible determine the risk of water shortage for Mundo Nuevo, establishing a critical risk of 79.17% and a favorable of 11.46% as a result of the multiple relations generated between the current climatic conditions, the future uncertainties and the strategies established for adaptation to climate change.

Keywords: risk, climate change, modeling, aqueducts

Contenido

Introducción	10
Justificación	12
Objetivos	13
Objetivo General	13
Objetivos Específicos.....	13
Marco de Referencia	14
Marco Conceptual	14
Marco teórico	19
Marco geográfico	23
Marco histórico	24
Metodología	25
Identificación de Elementos de Análisis	25
Construcción del Modelo de Gestión Base y Escenarios Climáticos Futuros	26
Selección de Estrategias.....	28
Resultados	29
Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua Potable de la Vereda Mundo Nuevo E.S.P. 29	
Elementos de Análisis del Sistema	31
Caracterización de la Oferta Hídrica del Sistema	31
Caracterización de la demanda	39
Sistema de Acueducto Comunitario de la Vereda Mundo Nuevo – ASAMUN.....	42
Modelo de Gestión – Año Base	46
Modelo Lluvia – Escorrentía	46
Modelo Oferta-Demanda	48
Modelo de Gestión – Escenarios Futuros	49
Modelo Lluvia-Escorrentía – Escenarios Futuros.....	50
Modelo oferta-demanda – escenarios futuros	52
Estrategias	59
Conclusiones y Recomendaciones	63
Bibliografía	65

Lista de Tablas

Tabla 1. Variables de usos del suelo requeridas para la elaboración del modelo Lluvia-Eschorrentía	26
Tabla 2. Aspectos generales de ASAMUN.....	29
Tabla 3. Precipitación Mensual.....	32
Tabla 4. Temperatura Mensual Promedio.....	33
Tabla 5. Humedad Mensual Promedio.....	34
Tabla 6. Velocidad Mensual de Viento.....	34
Tabla 7. Área por uso del suelo.....	36
Tabla 8. Variables para usos del suelo	36
Tabla 9. Porcentaje de cobertura por Catchment	38
Tabla 10. Número de suscriptores por clasificación.....	39
Tabla 11. Consumo anual total.	40
Tabla 12. Consumo anual por suscriptor.	40
Tabla 13. Pérdidas mensuales	41
Tabla 14. Incertidumbres establecidas para la modelación.....	49
Tabla 15. Abreviación de cada escenario por incertidumbres	50
Tabla 16. Estrategias establecidas para la modelación de escenarios futuros	52
Tabla 17. Riesgo de desabastecimiento por escenario con aumento de captaciones	53
Tabla 18. Riesgo de desabastecimiento por escenario sin aumento de captaciones	53
Tabla 19. Características del Escenario Critico Seleccionado.....	54
Tabla 20. Características del Escenario Favorable Seleccionado	57
Tabla 21. Características del Escenario Aleatorio Seleccionado.....	59
Tabla 22. Caudales de las quebradas en el escenario aleatorio sin y con reconversión de usos del suelo.	61

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Cambios en la temperatura promedio del planeta.....	20
Ilustración 2. Diagrama de parámetros estimados en el modelo Lluvia-Eschorrentía.....	27
Ilustración 3. Toma de caudales en campo.....	31
Ilustración 4. Esquema del modelo en WEAP37	
Ilustración 5. Bocatoma Carrillo 1.	42
Ilustración 6. Bocatoma Carrillo 2	43
Ilustración 7. Bocatoma Valderrama.....	43
Ilustración 8. Bocatoma Mendoza.....	44
Ilustración 9. Planta de Potabilización de ASAMUN.	45

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Precipitación Mensual.....	32
Gráfico 2. Temperatura Mensual Promedio.....	33
Gráfico 3. Humedad Mensual Promedio.....	34
Gráfico 4. Velocidad Mensual de Viento.....	34
Gráfico 5. Área por uso del suelo.	36
Gráfico 6. Área total por cada Catchment.....	38
Gráfico 7. Porcentaje de cobertura por Catchment.	38
Gráfico 8. Consumo anual total.	40
Gráfico 9. Consumo anual por suscriptor	40
Gráfico 10. Pérdidas mensuales.	41
Gráfico 11. Caudales de quebradas en modelo base.	47
Gráfico 12. Caudales antes de bocatoma aforados.	48
Gráfico 13. Cobertura mensual de la demanda.	48
Gráfico 14. Caudales del Escenario P18T0.7HR-2.5.....	51
Gráfico 15. Caudales del Escenario P25T1.6HR-5.....	51
Gráfico 16. Caudales del Escenario P-18T2HR-7	51
Gráfico 17. Cobertura Mensual Multianual del Escenario Critico.	55
Gráfico 18. Cobertura de la Demanda Anual del Escenario Critico.....	55
Gráfico 19. Cobertura Anual del Caudal Ecológico de cada quebrada para escenario critico.. ..	56
Gráfico 20. Cobertura Mensual Multianual del Escenario Favorable.	57
Gráfico 21. Cobertura de la Demanda Anual del Escenario Critico.....	58
Gráfico 22. Cobertura Anual del Caudal Ecológico de cada quebrada para escenario favorable.	58

Lista de Mapas

Mapa 1. Mapa de ubicación de la vereda Mundo Nuevo.....	23
Mapa 2. Mapa de usos del suelo de las microcuencas abastecedoras.....	35

Introducción

El cambio climático es sin lugar a dudas uno de los principales retos a los cuales se enfrenta la humanidad hoy en día, ya que este, amenaza con impactar el ambiente, la sociedad y la economía mundial.

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático, determinó que desde la década de 1950 la atmósfera y el océano han aumentado considerablemente su temperatura, los volúmenes de cuerpos de hielo y nieve han disminuido drásticamente mientras que el nivel del mar se ha elevado. Dichos impactos se han generado en consecuencia de la influencia humana en el sistema climático, producto de sus actividades diarias, donde la mayor parte de estas, representan una constante emisión de gases de efecto invernadero y degradación de los ecosistemas terrestres (IPCC, 2014).

El Instituto Potsdam para la Investigación del Impacto Climático estima que, se pueda llegar a presentar un incremento de 4°C en la temperatura media de la tierra para finales del siglo, lo cual directa e indirectamente, impactaría considerablemente los diferentes ecosistemas del planeta y, en consecuencia, todas las actividades antrópicas que requieren de estos (Banco Mundial, 2014).

En Colombia, como respuesta a lo anteriormente mencionado y mediante el Decreto 298 de 2016, se estableció la organización y el funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático (SISCLIMA), con el fin de poseer una entidad que se encargase de gestionar la mitigación de gases de efecto invernadero y la adaptación al cambio climático en el país. A su vez para la fecha se estableció la Política Nacional de Cambio Climático y el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, dos instrumentos fundamentales para la gestión del cambio climático en Colombia.

El clima en Colombia, se caracteriza en sus condiciones extremas por la influencia de los Fenómenos de El Niño y La Niña, los cuales consisten en periodos extremos de sequía para el caso del Niño o de intensas lluvias para el caso de la Niña. Estos fenómenos a lo largo de la historia han configurado múltiples escenarios de riesgo y en algunos casos ocasionado desastres, tanto naturales, económicos como sociales.

Los escenarios de riesgo en Colombia, son producto de la relación existente entre las múltiples amenazas de carácter natural como lo son, los sismos, las erupciones, los deslizamientos, los huracanes, las sequias, las inundaciones, producto de las condiciones climáticas, hídricas y geológicas del territorio; y los constantes estados de vulnerabilidad del territorio comúnmente asociados a procesos inadecuados de planificación y organización.

Dentro de los constantes estados de vulnerabilidad, se encuentra la vulnerabilidad hídrica ante los fenómenos climáticos, que para el caso de Colombia genera un impacto directo en el acceso al agua potable, ya sea por la posibilidad de ocurrencia de una prolongada sequía que disminuya el cauce de los ríos, degrade los ecosistemas y reduzca la disponibilidad de agua, o como resultado de grandes inundaciones que puedan generar daños considerables en la infraestructura y sistemas de acueducto.

En este orden de ideas, la vereda Mundo Nuevo mediante su entidad conocida como Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua Potable de la Vereda Mundo (ASAMUN) encargada de brindar el servicio de agua potable, requiere de la implementación de un análisis de riesgo de desabastecimiento hídrico, asociado tanto a las amenazas de carácter climático, principalmente las sequias, como a los estados de vulnerabilidad del sistema, representados por la disponibilidad y acceso al agua proveniente de las fuentes abastecedoras. Dicho análisis se generará mediante la implementación de modelos climáticos futuros.

Justificación

El agua es esencial para la vida, así lo estableció la Organización Mundial de la Salud y la ciencia lo ha demostrado día tras día, por lo cual en el año de 2010 la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció como derecho humano al abastecimiento de agua y saneamiento.

En la actualidad son muchas las poblaciones que no logran garantizar el abastecimiento de agua y saneamiento a sus ciudadanos, principalmente aquellas que se encuentran ubicadas en zonas donde, ya sea por las condiciones climáticas, geológicas e hidrológicas, o por sus condiciones socioeconómicas, configuran escenarios de riesgo de desabastecimiento hídrico al no poder garantizar la cobertura de su demanda de agua total.

En Colombia, el Instituto Nacional de Salud estima que cerca del 40% de la población no garantiza una cobertura del 100% de la demanda hídrica, lo cual se ve reflejado principalmente en el sector rural. Esto se debe a que los municipios enfocan sus esfuerzos en el sector urbano dejando muchas veces de lado los sectores rurales. Como consecuencia de esto, la población rural se ve en la necesidad de elaborar sus propios sistemas de acueductos para brindar el acceso al agua potable (Portafolio, 2014).

Lo anterior se puede evidenciar en la vereda Mundo Nuevo, del municipio de Pereira, la cual, al no poseer cobertura de agua potable por la principal entidad prestadora de servicio, se vio en la necesidad de crear su propio sistema de acueducto, establecido mediante la Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua Potable de la Vereda Mundo Nuevo (ASAMUN).

Con base en lo anteriormente mencionado, se estableció al sistema de acueducto comunitario de la vereda Mundo Nuevo, como el caso piloto para la implementación de un análisis de riesgo de desabastecimiento hídrico ante el cambio climático, con el cual se busca exponer las amenazas, sus vulnerabilidades y los posibles escenarios de riesgo a las cuales se puedan enfrentar en el futuro, para así lograr mitigar los impactos que puedan llevar a un escenario desabastecimiento hídrico y todos los problemas que se puedan desprender de dichas circunstancias.

Objetivos

Objetivo General

Analizar el riesgo de desabastecimiento hídrico ante el cambio climático del acueducto comunitario de Mundo Nuevo, mediante el uso de escenarios futuros, para determinar alternativas que permitan su reducción o mitigación.

Objetivos Específicos

Identificar los elementos de análisis para la construcción del modelo base y escenarios climáticos futuros.

Construir el modelo hidroclimatológico base y los escenarios futuros mediante el uso del software WEAP.

Seleccionar estrategias enfocadas a la mitigación de los impactos del cambio climático en la vereda Mundo Nuevo.

Marco de Referencia

Marco Conceptual

El agua, sin lugar a duda es uno de los recursos más importantes para la vida, de tal modo que la ciencia establece la posibilidad de que la vida tal y como la conocemos se haya generado en los océanos.

Para comprender un poco más su importancia y complejidad es necesario analizarla desde el punto de vista sistémico, en el cual la tierra se comprende como un gran sistema compuesto por 4 subsistemas esenciales, la biosfera, la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera. Estos subsistemas interactúan constantemente entre si dando como resultado un proceso conocido como el ciclo hidrológico o ciclo del agua, el cual se puede definir como el constante y permanente movimiento o transferencia de las masas de agua, tanto de un punto del planeta a otro como entre sus diferentes estados ya sea líquido, gaseoso y sólido (Ordoñez, 2011).

El ciclo hidrológico es un sistema a escala mundial cuyo principal motor es la energía del sol, el cual hace que el agua se evapore en gran medida desde los océanos y en mayor escala desde los continentes, transformando el agua líquida en gas formando así aire cargado de humedad. Los vientos permanentes de la tierra desplazan este aire ya sea desde o hacia los continentes, hasta que las condiciones de presión y temperatura son las adecuadas para que el agua se condense y se precipite nuevamente.

En principio lo anterior compone el ciclo hidrológico, no obstante, es un poco más complejo en las áreas continentales. Al precipitar el agua en los continentes, una parte de esta penetra el suelo mediante un proceso conocido como infiltración, dicho proceso carga los suelos con agua y cuando la intensidad de la precipitación es mayor a la capacidad de absorción del suelo, el agua restante fluye sobre la superficie terrestre formando corrientes. Este proceso se conoce como la escorrentía. Del total del agua que logra infiltrarse en el suelo, una parte es absorbida por las plantas, las cuales posteriormente liberan en agua en forma de vapor a la atmósfera, proceso denominado transpiración; otra parte se mueve lateralmente en el suelo debido a las capas impermeables del suelo que limitan su movimiento vertical mediante un proceso conocido como interflujo y finalmente una última parte penetra las zonas profundas del suelo y llega hasta los

acuíferos profundos en un proceso llamado percolación. Adicionalmente, el agua que se precipita en zonas muy frías, se solidifica entrando a ser parte de los campos de nieve o glaciares los cuales cambian poco a poco, producto de las variaciones en la temperatura, a su estado líquido para convertirse en corrientes de agua superficiales. Las corrientes de agua superficiales fluyen a través de los continentes generando condiciones propicias para el establecimiento de diferentes ecosistemas acuáticos. Un factor importante por mencionar es el de la evaporación y transpiración en los continentes que, al no haber una manera de medir independientemente sus valores, se hacen conjuntamente mediante la estimación de la evapotranspiración (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Los estudios científicos establecen que, de toda el agua del planeta, el 97.2% se encuentra en los océanos, dejando solo un 2.8% correspondiente a aguas continentales, distribuidas en 2.15% como glaciares y aguas congeladas y tan solo el 0.62% como agua en estado líquido disponible. No obstante, de este 0.62% el 30% se encuentra representada en acuíferos profundos y en la humedad del suelo, dejando el 70% representado en lagos y ríos (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Es debido al ciclo hidrológico, que la tierra logró establecer las condiciones propicias para la vida, ya que la atmósfera, un componente esencial de la tierra formada a partir de la unión de diferentes gases emitidos por procesos de evaporación conocidos como gases de efecto invernadero, configuró las condiciones propicias de temperatura para el establecimiento de las especies en diferentes zonas del planeta. Adicionalmente es por el ciclo hidrológico que actualmente existen lagos, acuíferos y ríos, de los cuales se desprenden la mayoría de las interacciones que se dan al interior de los ecosistemas y en gran medida las diferentes actividades antrópicas soportadas por los bienes y servicios ofrecidos por estos.

Los humanos como seres vivos requieren del agua para existir, tanto para consumo como para desarrollar la mayoría de sus actividades, como la agricultura, la ganadería, la construcción, la minería en inclusive como un medio de transporte. Realmente son pocas las actividades humanas que no requieren del agua, pero la actividad de mayor importancia es su consumo directo. Para hacerlo sin riesgo alguno, la tecnología ha avanzado considerablemente para lograr captar el agua cruda y potabilizarla mediante operaciones y procesos que garantizan condiciones óptimas de consumo. Actualmente el método más usado es el de captación de corrientes superficiales, potabilización y distribución del agua, mediante la implementación de sistemas de acueducto.

Un acueducto consiste en un sistema encargado de captar el agua, transportarla a una planta de tratamiento donde se le brindaran condiciones óptimas de consumo para posteriormente distribuirla a los habitantes de una ciudad, pueblo o comunidad. Comúnmente se compone de una captación conocida como bocatoma la cual se encarga de desviar parte de la corriente hídrica superficial hacia una planta de potabilización, una vez pasada la captación mediante el proceso de aducción se dirige a los desarenadores los cuales se encargan de retener los sólidos y permitir que el agua vaya con la menor cantidad de solidos sedimentables para las etapas siguientes. La conducción del agua se hace a través de tuberías o mangueras las cuales transportan el agua hacia la planta de potabilización, en este punto se hacen las operaciones y procesos fisicoquímicos necesarios para dar las condiciones óptimas al agua para su consumo. Finalmente, el agua se puede almacenar en tanques o directamente ser enviada al sistema de distribución el cual se encarga de llevar el agua tratada a los usuarios. (Ministerio de Desarrollo Económico, 1999).

Un acueducto se puede analizar como un sistema abierto entendiendo este como uno en el cual existen intercambios de materia, energía e información, además de la interacción de fuerzas (Ossa, 2016). Al igual que todos los sistemas abiertos, un acueducto está sometido a los cambios en el ambiente, el cual puede generar perturbaciones que afecten directa o indirectamente al acueducto.

Para el caso de esta investigación dichas perturbaciones se entenderán como las incertidumbres externas, entendiendo estos como todos los posibles factores que están fuera del alcance de los tomadores de decisiones pero que tiene un efecto directo sobre el sistema (Valencia *et al.* 2013). Dichas incertidumbres configuran escenarios de riesgos, los cuales determinan el estado actual y futuro del sistema.

El riesgo se puede entender de dos maneras: “La probabilidad de la ocurrencia de un evento físico dañino o como la probabilidad de daños y pérdidas futuras asociadas a la ocurrencia de un evento físico dañino” (Narváez, Lavell y Pérez, 2009). A partir de esas definiciones y para la presente investigación el riesgo se entenderá como la probabilidad de ocurrencia de un evento físico que ante un estado de vulnerabilidad pueda generar daños y pérdidas ambientales, económicas y sociales.

Nótese que el anterior párrafo se mencionan eventos físicos y vulnerabilidad. Los eventos físicos se refieren para el presente caso como las incertidumbres externas o amenazas que puedan impactar positiva o negativamente el sistema de acueducto bajo análisis. Por otra parte, la vulnerabilidad hace referencia a las condiciones humanas que sean propensas a ser impactados por una amenaza y en consecuencia a sufrir daños y pérdidas (Narváez *et al.* 2009). Dentro de las incertidumbres externas que pueden afectar un sistema de acueducto, se encuentra una que actualmente se considera de mayor importancia como es el cambio climático.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático define en su artículo 1 al cambio climático como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempos comparables (Naciones Unidas, 1992).

El cambio climático es un proceso natural de la tierra, eso debe de ser aclarado desde este punto y comprender que fue gracias a estos que la tierra logró poseer las condiciones óptimas para la vida. Este proceso se configura a partir de los gases de efecto invernadero como el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, entre otros; los cuales componen la atmósfera y se encargan de la retención de radiación solar, regulando la temperatura del planeta. El problema inicia cuando la cantidad de gases aumenta en tal medida que la temperatura del planeta incrementa, dicho proceso se conoce como Calentamiento Global.

Comúnmente se tiende a confundir al cambio climático con la variabilidad climática, por lo cual se debe aclarar que la diferencia entre dichos factores recae en el tiempo de medición. La variabilidad climática se establece a partir del análisis de las condiciones atmosféricas durante periodos de tiempo relativamente cortos que van desde meses hasta un máximo de dos décadas. Regularmente los cambios son mínimos y mantienen un promedio establecido, aunque bien los fenómenos meteorológicos extremos pueden ocurrir, pero son determinados en un espacio y tiempo. Por otra parte, el cambio climático se evidencia cuando se logran hacer comparaciones entre dos periodos distintos con lapsos de tiempo mayores a 30 años. Como lo puede ser la temperatura o el comportamiento promedio de las lluvias entre 1987 – 2017 y entre 1950 - 1980 (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014).

Dentro de los impactos que el cambio climático puede ejercer en el ambiente se han evidenciado el derretimiento de los casquetes polares y de los glaciares, el aumento en el nivel del océano, la degradación de ecosistemas principalmente marítimo y la variación de los regímenes hidrológicos de ríos y quebradas. Estos últimos de central importancia para los sistemas de acueducto que de ellos se abastecen. Actualmente la ciencia busca la manera de predecir los posibles impactos que el cambio climático puede llegar a ejercer en el planeta, para lo cual se emplean los escenarios climáticos futuros.

Un escenario climático futuro constituye una descripción estimable sobre la manera en como puedan desarrollarse las condiciones climáticas futuras, dicha descripción se establece a partir de un conjunto de supuestos, variables y relaciones, dentro de las cuales se encuentra las emisiones de gases de efecto invernadero en las diferentes épocas futuras (IDEAM, 2015).

A partir de los escenarios climáticos futuros se pueden establecer construir diferentes modelos que permitan la estimación del estado de diferentes elementos en el futuro. Para el presente caso se hace referencia a la oferta de agua. La predicción del comportamiento de la oferta de agua bajo diferentes escenarios climáticos futuros se establece a partir de modelos hidrológicos.

Un modelo hidrológico es la representación simplificada de un sistema real complejo comúnmente asociado a una cuenca o microcuenca hidrográfica. Normalmente se establece un modelo base en el cual se busca representar el actual comportamiento del sistema, y a partir de este, se generan escenarios hidrológicos futuros sustentados en las predicciones científicas de los escenarios climáticos futuros.

La modelación hidrológica se puede realizar con diferentes metodologías y herramientas. Para el caso de la presente investigación se utilizará el software Water Evaluation And Planning (WEAP), por lo cual es necesario mencionar que es una herramienta computacional utilizada para la planificación integrada de recursos hídricos cuyo fin es el de facilitar la toma de decisiones en el marco de la gestión del recurso hídrico.

Marco teórico

En el mundo existen múltiples teorías relacionadas con el cambio climático, las cuales debaten entre, si su origen es natural y la tierra solo se encuentra en un periodo de transición cálido, o si realmente se generó a partir del libre desarrollo e impactos antrópicos en el ambiente.

Es una evidencia científica internacional que el cambio climático existe y que desde la década de 1950 el planeta ha presentado un calentamiento neto, además de que el planeta seguirá calentándose en el presente siglo como consecuencia de las constantes emisiones de gases de efecto invernadero.

En el año 2007, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) afirmó que el calentamiento del sistema climático global es inequívoco, además de confirmar que el cambio actualmente es evidente debido a las observaciones sobre los incrementos de las temperaturas globales promedio del aire y los océanos, el derretimiento generalizado de las formaciones de hielo y nieve y el aumento del promedio global del nivel del mar (Rodríguez y Mance, 2009).

Si bien es cierto que el clima en la tierra a lo largo de su historia ha permanecido en un constante proceso de cambio, y que es gracias a estos cambios que se desarrollaron las condiciones propicias para el desarrollo y la evolución de la vida. También lo es que el rápido proceso de cambio en la temperatura global que se presencia hoy en día no proviene de una causa natural. El IPCC expone que el origen de dichos cambios acelerados proviene de la actividad humana, con una probabilidad científica superior al 90% (Rodríguez y Mance, 2009).

La principal actividad humana que influencia el cambio climático es la constante explotación de combustibles fósiles e hidrocarburos, no obstante, otras actividades como la tala de bosques para la ganadería y agricultura, la incineración de residuos sólidos y la extracción, procesamiento y distribución de combustibles fósiles. Dichas actividades generan una constante y considerable emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, alterando el equilibrio ambiental y en consecuencia generando una mayor retención de radiación solar causando así un aumento en la temperatura media global.

A partir de lo anterior se han generado una serie de predicciones respecto a que tanto aumentara la temperatura media de la tierra en los próximos años. El IPCC expuso que la temperatura media del planeta aumentó en 0.74°C entre el periodo de 1906 – 2005. En el año de 2007 el IPCC publica su informe Cambio Climático, en el cual estima que la temperatura media del planeta podría aumentar en 1.1°C para el periodo 2089-2099 en relación con la temperatura media del año 2000 (IPCC, 2017). Otras estimaciones como la es el caso del Instituto de Potsdam para la Investigación del Impacto Climático, prevén que el aumento en la temperatura podría llegar a los 4°C para finales del siglo (Banco Mundial, 2014).

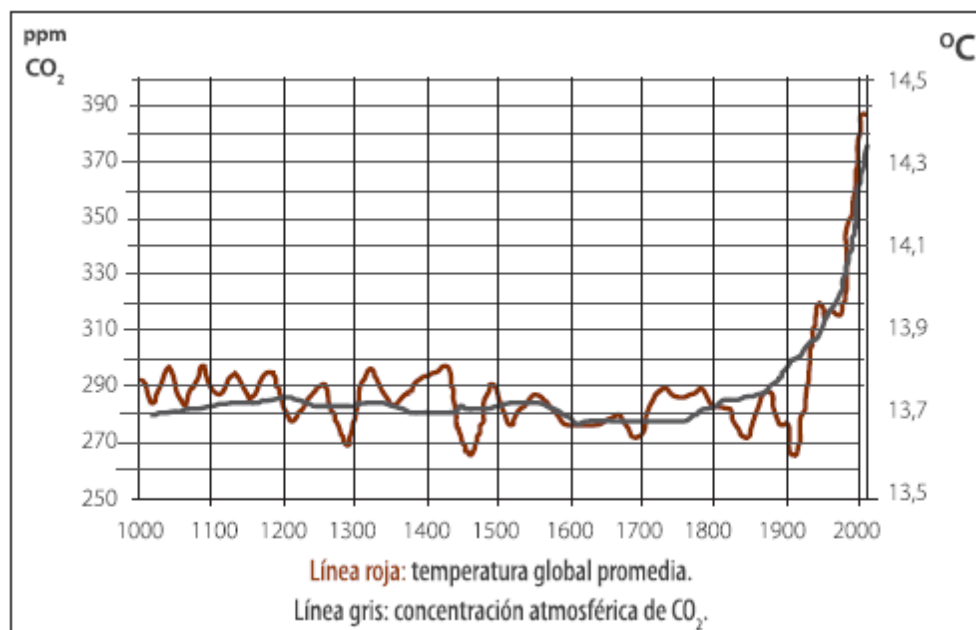


Ilustración 1. Cambios en la temperatura promedio del planeta.
Fuente: Banco Mundial, 2014

Dentro de los impactos actuales que demuestran el cambio climático se encuentra el derretimiento de los polos y glaciares, como evidencia se posee el hecho de que para el año 2011, la capa de hielo encontrada en el Océano Ártico disminuyó en un 40%, en relación con la existente en la década de 1980 (Pacheco y Valdés, 2012).

Si se llegase a enfrentar el peor de los casos, donde se haga efectivo un aumento en la temperatura media del mundo, la humanidad se podría ver sometida a una serie de impactos, como lo es el derretimiento de los glaciares y polos, ocasionando posibles desabastecimientos de agua

para poblaciones enteras, el aumento en el nivel del océano configurando escenarios de riesgo para ciudades costeras como Tokio, New York, Londres y en un sentido más local Cartagena de Indias.

Posteriormente se podrían presentar aumentos considerables en la tasa de mortalidad por enfermedades como la malaria y el dengue, se estima además que por lo menos el 10% de especies tanto de flora y fauna continentales enfrentarían la extinción, si la temperatura aumenta en 1°C, si aumenta en más de 3°C podrían ser al menos el 50%. Los niveles de acidez en los océanos aumentarían, impactando directamente los ecosistemas marinos. Finalmente podría variar la intensidad de los eventos extremos, como las olas de calor, los huracanes y los diferentes fenómenos climáticos globales (Rodríguez y Mance, 2009).

En Colombia los eventos climáticos extremos, asociados a los fenómenos del Niño y la Niña, podrían representar una amenaza considerable. En el caso del fenómeno del Niño caracterizado por el aumento considerable de la temperatura del país y la drástica disminución de lluvias, podrían presentarse escenarios prolongados de sequías, afectando directamente la productividad del país, el abastecimiento de agua potable para la población y posibles incendios, además de pérdidas en las poblaciones de fauna y flora. En contraste el fenómeno de la Niña caracterizada por disminuciones en la temperatura y el aumento de lluvias, podría configurar escenarios de riesgo, principalmente social, promoviendo la generación de inundaciones, avenidas torrenciales y desbordamientos de cuerpos hídricos.

Puesto a que el cambio climático es un fenómeno impredecible cuyos impactos se podrán percibir principalmente en un futuro cercano, las acciones encaminadas en disminuir tales impactos se basan en la prevención y mitigación, para que bien no se llegue a presentar el peor de los escenarios, o dado el caso de que este ocurra, se esté listo para enfrentarlo.

La mitigación del cambio climático, se lograría a partir de la disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, para esto se proponen diferentes cambios y mejoras para las actividades antrópicas que aportan en mayor medida dichos gases.

En cuanto a la generación de energía, se proponen la inversión en la energía eólica producida a partir de la fuerza del viento y la energía solar capturando la energía solar mediante el uso de placas fotovoltaicas. En cuanto al transporte se promueve una mejora en el sistema de

transporte principalmente en países del tercer mundo, lo anterior disminuiría el interés de la población por adquirir vehículos particulares. A su vez se promueve la introducción de autos eléctricos al mercado algo que actualmente es una realidad pero que, por conflictos económicos y políticos, se presentan múltiples barreras para su total entrada al mercado.

Para el caso de la industria en general, a nivel mundial se poseen incentivos económicos de producción más limpia donde las industrias invierten en tecnologías apropiadas para la disminución de emisiones, y el gobierno brinda incentivos económicos como recompensa. Dentro del campo de los residuos sólidos se busca el aprovechamiento total de los procesos de incineración como fuentes de energías alternas, disminuyendo las emisiones directas de gases principalmente proveniente de los rellenos sanitarios.

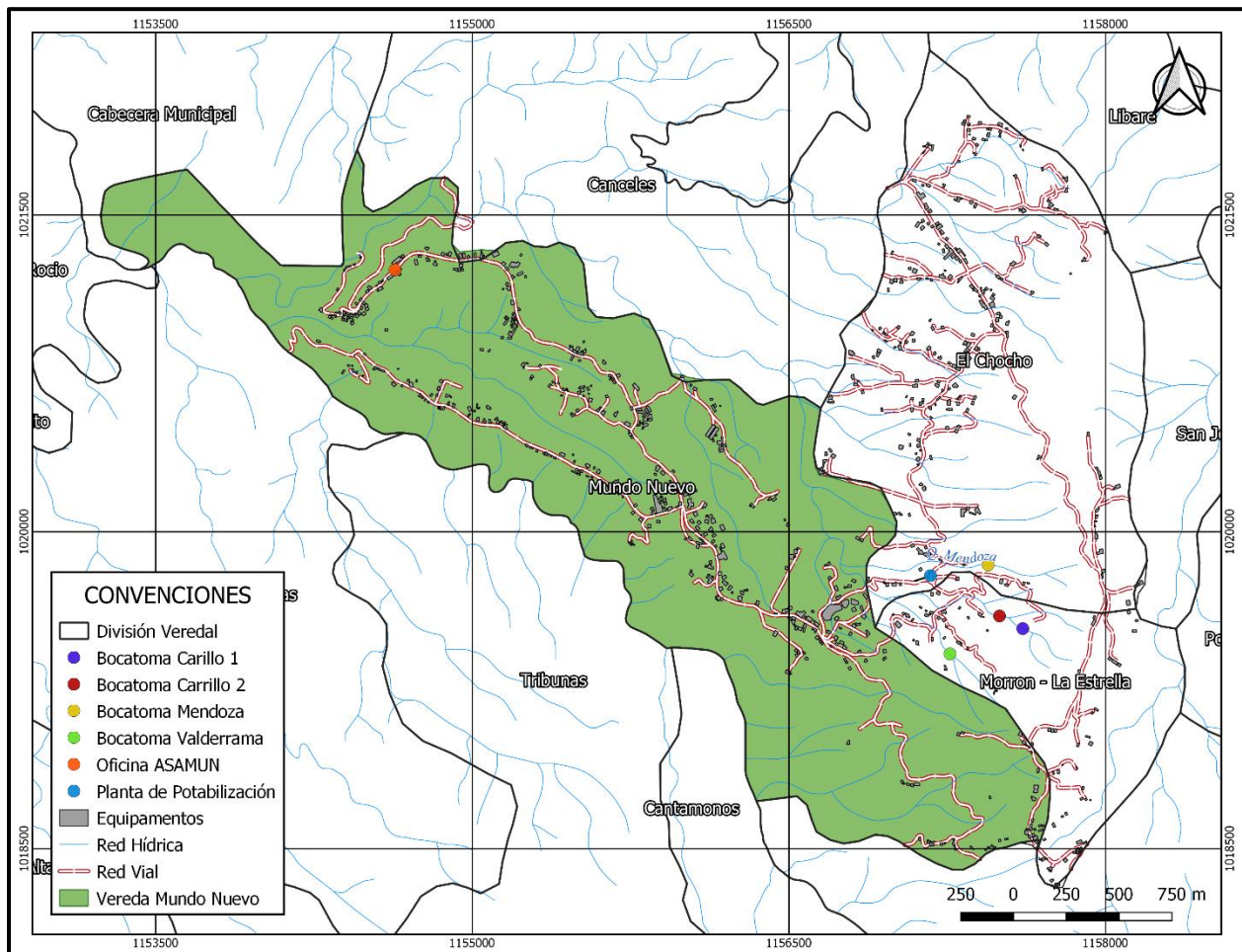
La agricultura y ganadería por su parte puede aportar al proceso de mitigación, realizando cambios en sus prácticas fertilizantes y en los métodos de crianza y alimento de los animales. Complementario con lo anterior se incluye el cambio en los usos de la tierra, evitando la deforestación y aumentando la siembra de bosques y la recuperación de ecosistemas.

Finalmente, uno de los principales factores de impacto sobre el cambio climático es la población mundial, ya que el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero depende directamente de la cantidad de personas que existan en el mundo, lo anterior se determina a partir de estudios que demuestran que países como China, Estados Unidos y India, generan cerca del 50% de emisiones de gases a la atmósfera (Semana, 2012). Como respuesta a lo anterior algunos especialistas recomiendan la instauración de procesos de control poblacional, tanto mediante normatividad como mediante procesos de educación preventiva en la población.

Desde el punto de vista preventivo y para el caso de Colombia se establece el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, el cual dentro de su capítulo 2, incluye las Medidas de Adaptación al Cambio Climático en los Instrumentos de Planificación del Desarrollo y del Ordenamiento del Territorio, adicionalmente se posee la Política Nacional de Cambio Climático y el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, dentro de los cuales se contienen tanto las medidas necesarias para la mitigación de los impactos y disminución de emisiones como los criterios de prevención que se deben incluir en la planificación del territorio.

Marco geográfico

La vereda Mundo Nuevo se encuentra ubicada en el Suroriente del municipio de Pereira del departamento de Risaralda. Se divide en 8 sectores, Guayabal, Intermedio, El Salado, Germinando, El Vergel, La Inspección, Los Lagos y Puerto Rico. Limita al norte con las veredas el Chocho y Canceles, al Sur con las Veredas Tribunas y Cantamonos, al Este con la vereda Morrón La Estrella y al Oeste con el Municipio de Pereira y las Veredas el Roció y Huertas.



Mapa 1. Mapa de ubicación de la vereda Mundo Nuevo

Fuente. Elaboración Propia.

Marco histórico

En Colombia, en el año 1927 se crea la Federación Nacional de Cafeteros, con el fin de crear una organización que representara a los cafeteros nacional e internacionalmente, además de velar por su bienestar y el mejoramiento de la calidad de vida. Posteriormente se conforma el Comité de Cafeteros de Caldas, el cual operaba en el territorio del viejo Caldas, conformado por los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío y que existió entre los años de 1905 y 1966. Aproximadamente en el año de 1960 se establece la Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua Potable de la Vereda Mundo Nuevo (ASAMUN), para la década de 1980 se hace la entrega formal a la comunidad para su administración, operación y manejo. Para el año de 1998 se organiza la junta directiva de la asociación y se finalizan las obras e inauguran las instalaciones que actualmente se pueden apreciar y operan en la vereda.

Desde la fecha el acueducto ha realizado inversiones en el mantenimiento de las instalaciones y acondicionamiento de la red de distribución, además, se enfoca en el cumplimiento de los parámetros establecidos por la normatividad como color aparente, turbiedad, el Índice de Riesgo de Calidad de Agua para Consumo Humano; los cuales se determinan en el Laboratorio de Aguas y Alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira. Dentro de sus obligaciones ambientales se encuentra la adecuación, cuidado y manejo de las microcuencas abastecedoras, con el apoyo constante de la Secretaria de Desarrollo Rural y Gestión Ambiental de la Alcaldía de Pereira y La Corporación Autónoma Regional de Risaralda. El 5 de marzo de 2014, mediante la resolución 0614, CARDER genera una prorroga a la concesión para el uso de aguas superficiales en el acueducto comunitario.

Metodología

La presente investigación se realizó mediante una adaptación de la metodología de Toma de Decisiones Robustas o RDM por sus siglas en inglés, propuesta por la Corporación RAND. Esta se basa en un enfoque integral, teniendo en cuenta el mayor número de factores de un sistema, que se encuentren en un estado de vulnerabilidad ante las posibles incertidumbres, que posean la capacidad de perturbarlo teniendo como fin la identificación de las estrategias que generen un óptimo desempeño y garanticen la mitigación de los impactos (Stockholm Environment Institute, 2011).

Para facilitar el proceso de Toma de Decisiones Robustas, la Corporación RAND propone el marco XLRM, el cual consta de cuatro elementos de análisis. El primero de ellos, la incertidumbre externa (X), es entendida como todo factor que pueda llegar a generar un efecto sobre el sistema y las estrategias aplicadas, ésta se encuentra fuera del alcance de los tomadores de decisiones y son inevitables; los apalancamientos (L), son establecidos a partir de las acciones, estrategias o alternativas que se consideran explorar y que generan un impacto sobre el estado del sistema; las relaciones (R), las cuales establecen los estados futuros de un sistema en función de la forma en cómo se manifiesten las incertidumbres y los apalancamientos propuestos. Finalmente, las medidas (M) establecidas a partir de indicadores o estándares de cumplimiento (Valencia *et al.* 2013).

A partir de lo anterior se definieron 3 momentos claves para el desarrollo del proceso investigativo, los cuales dan respuesta a cada uno de los objetivos específicos del presente documento detallados a continuación.

Identificación de Elementos de Análisis

El primer momento consistió en la identificación de los elementos de análisis requeridos para la construcción del modelo base y los escenarios climáticos futuros. Inicialmente, se realizó una descripción del área de estudio, además de exponer la información recolectada y necesaria para la construcción del modelo base.

La información se recolectó mediante trabajo de campo, en complemento a la suministrada por la Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua Potable de la Vereda Mundo Nuevo-

ASAMUN (Acueducto Comunitario), esta información corresponde a los datos de demanda y captaciones del acueducto comunitario. La información climática relevante como la temperatura y la precipitación se obtuvo mediante la solicitud formal y el apoyo del personal técnico y administrativo de la Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda (REDH¹).

Los elementos de análisis e incertidumbres relacionados con el cambio climático se establecieron a partir de los escenarios futuros propuestos por IDEAM para Colombia 2011 - 2100 y recolección de información secundaria.

Las incertidumbres asociadas a la demanda se formularon a partir de proyecciones de aumento poblacional acordes a la naturaleza de la zona de estudio. La información cartográfica necesaria para la elaboración del modelo como usos del suelo, pendientes, entre otros, se generó mediante el uso del sistema de información geográfica Quantum GIS.

Construcción del Modelo de Gestión Base y Escenarios Climáticos Futuros

En este punto se realizó la construcción del modelo de gestión base mediante el uso del software Water Evaluation And Planning (WEAP), a partir de un método conocido como Soil Moisture Method o modelo Lluvia – Escorrentía, el cual, parte de información meteorológica y de coberturas del suelo, determina parámetros y variables como la escorrentía, la evaporación y la percolación de una cuenca o microcuenca de interés, y de esta manera, lograr estimar valores de caudales de las fuentes hídricas abastecedoras. Parte de la información requerida para usos del suelo se expone a continuación.

Kc	Coeficiente de Cultivo
SWC	Capacidad de Almacenamiento Superior
DWC	Capacidad de Almacenamiento Interior
RRF	Factor de Resistencia a la Escorrentía
RZC	Conductividad en la Zona Radicular
DC	Conductividad en la Zona Profunda
<u>PFD</u>	<u>Dirección Preferencial de Flujo</u>

Tabla 1. Variables de usos del suelo requeridas para la elaboración del modelo Lluvia-Escorrentía.
Fuente. Elaboración Propia

¹ Portal web de la Red Hidroclimatológica de Risaralda - <http://redhidro.org/home>

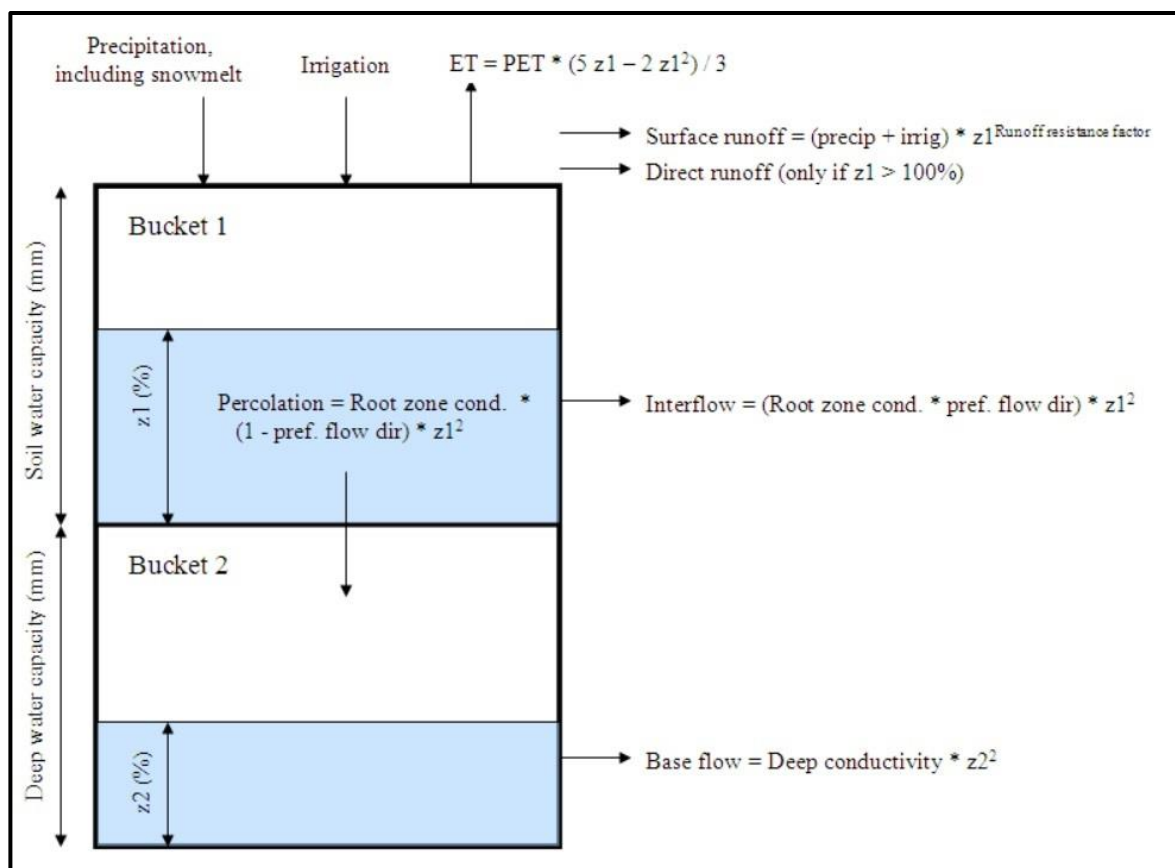


Ilustración 2. Diagrama de parámetros estimados en el modelo Lluvia-Escorrentía
Fuente. WEAP, 2018.

Adicionalmente, el diagrama busca exponer la diferente información y los diferentes cálculos que el software WEAP implementa para, establecer el modelo de Lluvia-Escorrentía.

Adicionalmente se estableció un modelo Oferta-Demanda, el cual se construyó a partir de la información de oferta hídrica proveniente de las fuentes hídricas abastecedoras, estimada a partir del modelo Lluvia-Escorrentía; y los datos de demanda hídrica de los usuarios del sistema de acueducto de la vereda Mundo Nuevo.

El modelo base fue generado a partir de información histórica recolectada, la cual existe desde el año 2008 hasta el año 2017, estableciendo este último como el año base tanto para el modelo de gestión, como para los escenarios climáticos futuros.

Los escenarios climáticos futuros se generaron en un periodo de 23 años, desde el año 2017 hasta el año 2040. Se establecieron en total 3 posibles escenarios climáticos futuros asociados a 4

incertidumbres (X) que puedan afectar el sistema y un total de 4 estrategias (L) que permitan una adaptación y mitigación de los impactos del cambio climático.

Mediante el apoyo del personal especialista en el manejo de software WEAP, del grupo de Investigación en Ecología, Ingeniería y Sociedad de la Universidad Tecnológica de Pereira, se estableció un script con el complemento Visual Basic del software Microsoft Excel 2016, con el cual se automatizó el cambio y la conjugación de variables para cada escenario modelado en el software WEAP.

La automatizado permitió alterar las series históricas del modelo base, generando así múltiples escenarios climáticos futuros a partir de los cuales se logró predecir el comportamiento que podrían llegar a presentar tanto de las fuentes abastecedoras como la demanda hídrica, frente a los efectos que las diferentes incertidumbres y estrategias establecidas generan en el sistema.

Selección de Estrategias

Las estrategias se establecieron a partir de técnicas de adaptación al Cambio Climático, propuestos por diferentes autores y entidades gubernamentales. Se tuvo en cuenta además experiencias de grupos de trabajo locales, los cuales hicieron uso de la metodología XLRM.

Finalmente se realizó un contraste entre un mismo escenario, aplicando o no una estrategia en específico, para así determinar la efectividad de dicha estrategia tanto en términos de oferta como de demanda hídrica.

Resultados

Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua Potable de la Vereda Mundo Nuevo E.S.P.

Razón Social	Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua Potable de la Vereda Mundo Nuevo E.S.P.
Representante Legal	Diana Carolina Gutiérrez Valderrama
Teléfono	322 9547 – 301 451 9197
Dirección	Vereda Mundo Nuevo – Oficina de Inspección de Policía Nacional de Colombia.
NIT	816.003.035 – 1
Correo	acueductomundonuevo@gmail.com

Tabla 2. Aspectos generales de ASAMUN.

Fuente. Elaboración Propia

La Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua Potable de la Vereda Mundo Nuevo E.S.P. se establece como una entidad cívica sin ánimo de lucro, constituida por representantes de la comunidad, con el único fin de subsanar y cubrir la necesidad de abastecimiento hídrico de los habitantes de la vereda.

Su estructura organizacional se basa en una junta directiva, la cual se compone de 5 integrantes comenzando por el señor Jhoniers Gilberto Guerrero Erazo como presidente de la junta, el señor Ramón Salcedo Pizarro como vicepresidente, la señora Marta Inés Valderrama Quintero ocupando el cargo de secretaria y finalmente el señor Abel Marín Londoño y la señora Anabela Ramírez Céspedes cumpliendo la función de vocales. La principal tarea de la junta directiva es la ejecución de las decisiones tomadas en la asamblea general a la cual pueden asistir todos los suscriptores del servicio de acueducto. Cabe resaltar que la junta directiva se compone netamente por voluntarios, y al ser una entidad sin ánimo de lucro, ninguno de los integrantes recibe una compensación monetaria por sus servicios.

Una vez se toman las decisiones respectivas en la Junta Directiva, la persona encargada de la ejecución de los proyectos y del funcionamiento del sistema de acueducto es la gerente general y representante legal Diana Carolina Gutiérrez Valderrama, apoyada por el personal de operación constituido por Clemente Antonio Tasama, Luis Gonzaga Jiménez y Bernardo Antonio Castaño los cuales se encargan del funcionamiento y mantenimiento del acueducto.

Misión

La Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua de Mundo Nuevo “ASAMUN”, es una entidad sin ánimo de lucro, cuyo objetivo es satisfacer las necesidades y requerimientos de la comunidad local, en cuanto a los servicios públicos domiciliarios de acueducto con calidad, continuidad, eficiencia y costos razonables, utilizando los recursos ambientales y tecnológicos más avanzados que se dispongan, además de cumplir con la normatividad del sector de agua potable y saneamiento básico establecidas por las instituciones ambientales desde sus funciones de control, regulación y vigilancia, sumados a los valores corporativos como la honestidad, transparencia y autonomía.

Visión

La Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua de Mundo Nuevo “ASAMUN”, pretende posicionarse como la mejor empresa comunitaria prestadora del servicio de agua de Risaralda. Será una entidad sólida en su estructura organizacional y financiera, lo cual le permitirá la ampliación de su infraestructura y una mayor cobertura del servicio, contribuyendo con el desarrollo socioeconómico de la región. El capital humano es y seguirá siendo la principal riqueza de la empresa.

Política de Calidad

Para mencionar, lo que pretende la política de calidad en esta organización es trabajar con objetividad y transparencia para así mismo prestar los servicios públicos domiciliarios con excelencia mediante el alto desempeño de los procesos, contribuyendo así a elevar la calidad de vida de los usuarios, por medio del mejoramiento continuo y el compromiso del talento humano, conllevando a altos niveles de satisfacción en cuanto a accesibilidad, oportunidad y certeza de su calidad.

Elementos de Análisis del Sistema

Caracterización de la Oferta Hídrica del Sistema

Fuentes de abastecimiento

Mediante la resolución 1578 de diciembre de 2011, la Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua de Mundo Nuevo adquirió la concesión de aguas para captar un total de 5 l/s de las 3 fuentes de abastecimiento, y en el año 2014 obtuvo una prórroga para dicha concesión con la resolución 0614.

Dichas fuentes de abastecimiento son las quebradas Valderrama, San Antonio y Magallanes, en las cuales se ubican un total de 4 bocatoma, conocidas como la bocatoma Valderrama, Carrillo 1, Carrillo 2 y Mendoza las cuales se detallarán posteriormente.

Mediante el apoyo del personal de la Red Hidroclimatológica de Risaralda se realizaron aforos en cada una de las bocatoma, para de esta manera establecer un caudal base a partir del cual se pudiera generar un proceso preliminar de análisis y calibración del modelo base. Cabe resaltar que los aforos se realizaron en una temporada de pocas lluvias dato que se deberá tener en cuenta para los análisis posteriores del modelo.

Como resultado se obtuvieron los siguientes datos de caudal, la quebrada Valderrama previo a su bocatoma posee un caudal de 2.26 l/s, la quebrada San Antonio, antes de a bocatoma Carrillo 1 posee un caudal de 4.77 l/s, y posteriormente antes de la bocatoma Carrillo 2 un caudal de 3.39 l/s, finalmente la quebrada Magallanes antes de la bocatoma Mendoza, posee un caudal de 2.13 l/s.



Ilustración 3. Toma de caudales en campo.

Fuente. Propia

Condiciones Meteorológicas

La Red Hidroclimatológica de Risaralda posee una estación en la planta de potabilización de agua de Mundo Nuevo, gracias a la cual se logró obtener la información prioritaria y requerida para la construcción del modelo base, dicha información se detalla a continuación.

Precipitación

La estación posee reportes de precipitación desde el año 2008, por lo cual se realizó el cálculo de la precipitación media mensual y total anual hasta el año 2017, como resultado se obtuvieron los siguientes valores.

Mes	Precipitación mm
Enero	128.36
Febrero	128.872
Marzo	218.26
Abril	230.42
Mayo	228.266
Junio	115.313
Julio	108.08
Agosto	145.62
Septiembre	149.14
Octubre	277
Noviembre	314.74
Diciembre	189.96
Total	2234.031

Tabla 3. Precipitación Mensual.
Fuente. Red Hidroclimatológica de Risaralda

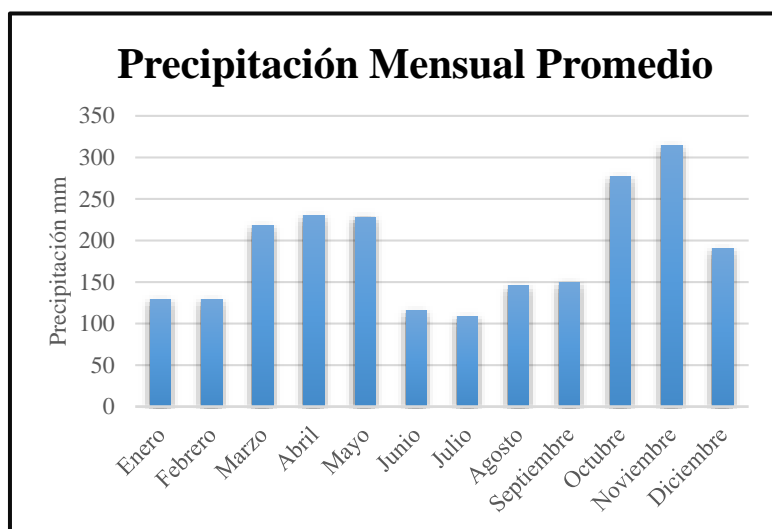


Gráfico 1. Precipitación Mensual.
Fuente. Red Hidroclimatológica de Risaralda

Como se puede evidenciar, la vereda mundo nuevo cuenta con una precipitación anual promedio de 2234 mm, siendo los meses de octubre y noviembre los de mayor precipitación, mientras que los meses de junio y julio representan los de menor precipitación

TEMPERATURA

A partir de la información proporcionada por la Red Hidroclimatológica de Risaralda se lograron establecer los siguientes valores promedio de temperatura para la vereda Mundo Nuevo.

Mes	Temperatura °C
Enero	19.84
Febrero	19.97
Marzo	19.71
Abril	19.67
Mayo	19.80
Junio	19.88
Julio	19.96
Agosto	19.99
Septiembre	19.79
Octubre	19.13
Noviembre	18.95
Diciembre	19.52
Promedio	19.68

Tabla 4. Temperatura Mensual Promedio.
Fuente. Red Hidroclimatológica de Risaralda

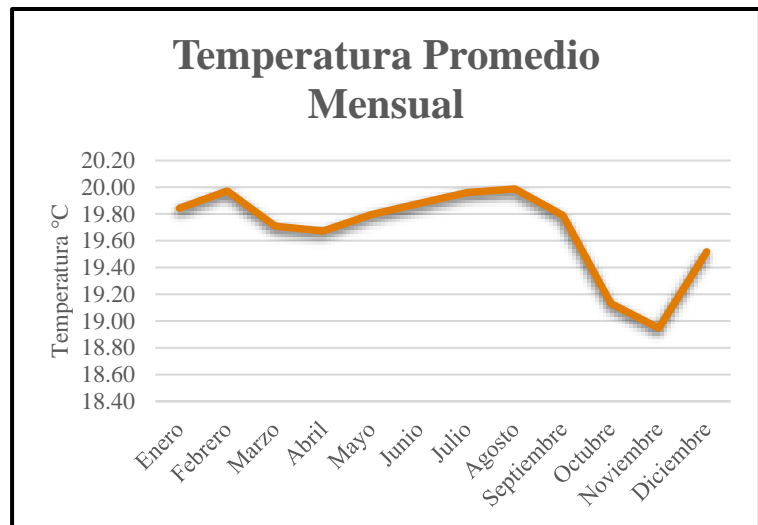


Gráfico 2. Temperatura Mensual Promedio.
Fuente. Red Hidroclimatológica de Risaralda

En promedio la vereda Mundo Nuevo presenta una temperatura de 19.68 °C ($\sigma^2 = 0.33$ °C), con valores mínimos mensuales en los meses de octubre y noviembre, representando una relación directamente proporcional con los valores de precipitación mensual máxima.

HUMEDAD

La vereda presenta una humedad anual promedio de 82.45% ($\sigma = 1.88\%$) con sus valores máximos mensuales en los meses de octubre y noviembre. Lo anterior se puede evidenciar en la siguiente tabla de valores y su respectiva gráfica.

² σ = Desviación estándar

Mes	Humedad %
Enero	80.36
Febrero	80.89
Marzo	83.03
Abril	83.91
Mayo	84.09
Junio	82.64
Julio	80.75
Agosto	79.70
Septiembre	80.76
Octubre	84.23
Noviembre	85.48
Diciembre	83.55
Promedio	82.45

Tabla 5. Humedad Mensual Promedio.

Fuente. Red Hidroclimatológica de Risaralda.

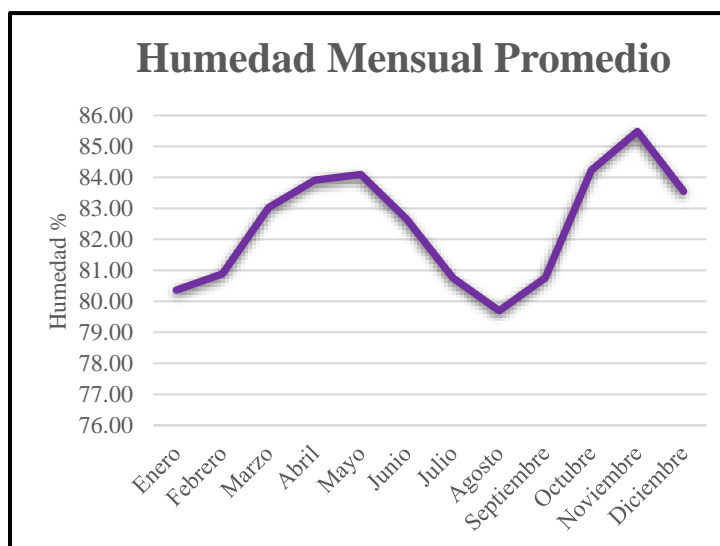


Gráfico 3. Humedad Mensual Promedio.

Fuente. Red Hidroclimatológica de Risaralda

VIENTO

A partir de la información recolectada se estableció una velocidad de viento anual promedio de 0.54 m/s ($\sigma = 0.043$ m/s). Con un comportamiento estable y con pocas variaciones siendo 0.47 m/s la velocidad mínima y 0.58 m/s la máxima.

Mes	Viento m/s
Enero	0.58
Febrero	0.56
Marzo	0.58
Abril	0.58
Mayo	0.51
Junio	0.50
Julio	0.47
Agosto	0.53
Septiembre	0.58
Octubre	0.56
Noviembre	0.52
Diciembre	0.47
Promedio	0.54

Tabla 6. Velocidad Mensual de Viento.

Fuente. Red Hidroclimatológica de Risaralda.

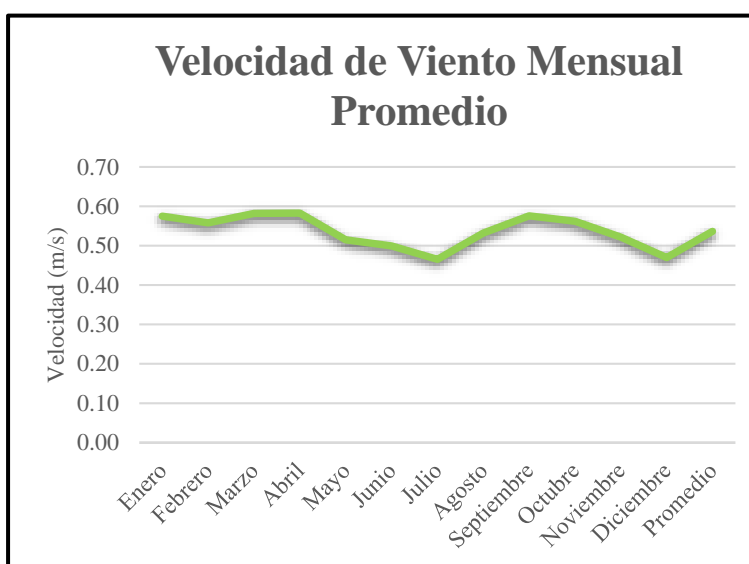
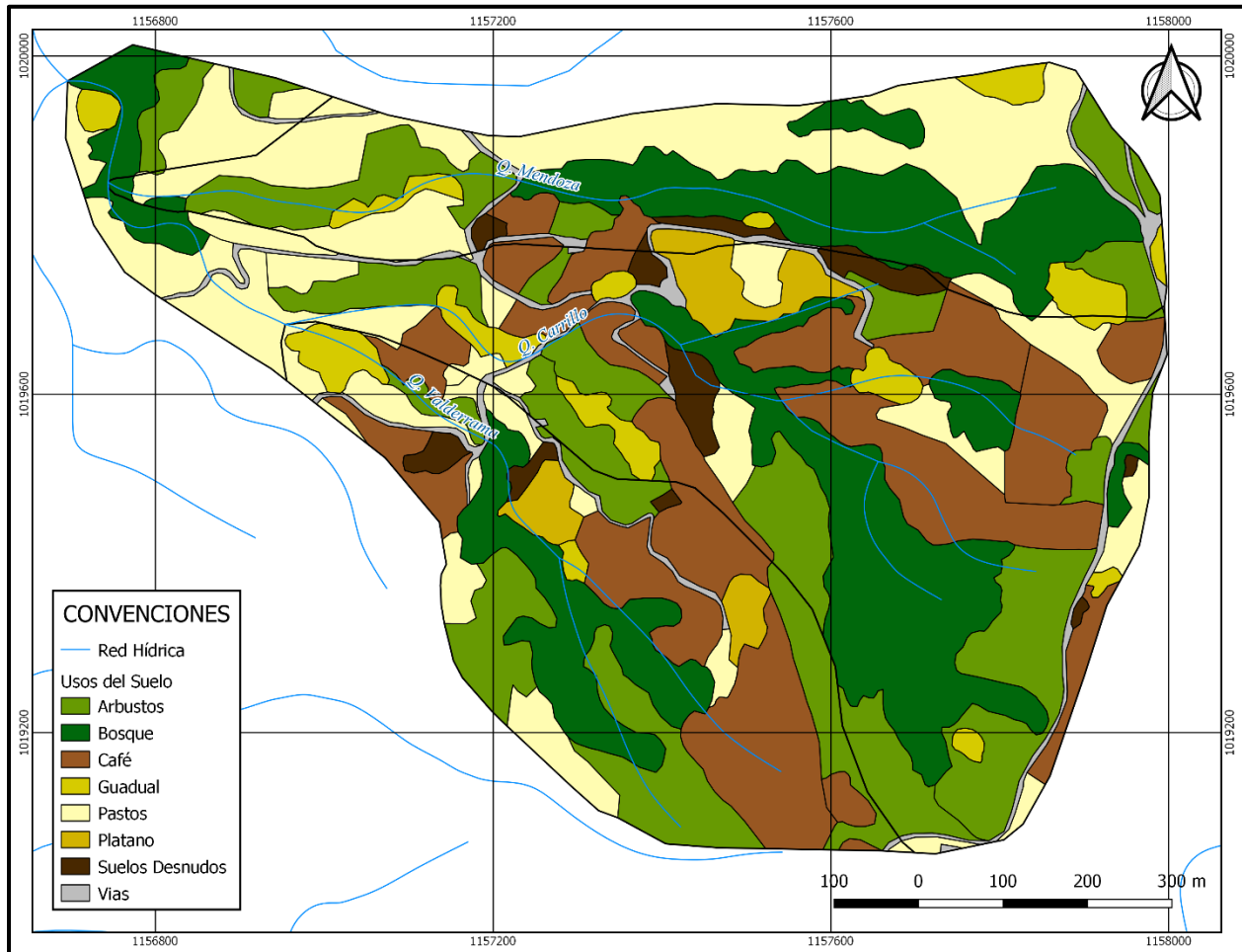


Gráfico 4. Velocidad Mensual de Viento.

Fuente. Red Hidroclimatológica de Risaralda

Coberturas y usos del suelo

Las coberturas y los usos del suelo son elementos del modelo prioritarios para la determinación de la oferta hídrica del sistema, por lo cual mediante el uso de imágenes satelitales extraídas de Bing satélites y actualizadas para el año 2017, se realizó la digitalización y el levantamiento de las diferentes coberturas de las microcuencas abastecedoras con la herramienta Quantum GIS.



Mapa 2. Mapa de usos del suelo de las microcuencas abastecedoras.

Fuente. Elaboración Propia

Dentro de los resultados se obtuvo que el área total de las microcuencas de las cuales se abastece la vereda Mundo Nuevo es de 82.95 ha, las cuales se dividen en arbustos con 18.28 ha, bosque con 19.41 ha, café con 16.86 ha, guadual con 3.76 ha, pastos con 18.06 ha, plátano con 2.29, suelos desnudos con 1.93 y vías con 2.37. Lo anteriormente mencionado se puede evidenciar en la gráfica y la tabla que se exponen a continuación.

Uso	Area Ha
Arbustos	18.28
Bosque	19.41
Café	16.86
Guadual	3.76
Pastos	18.06
Platano	2.29
Suelos Desnudos	1.93
Vias	2.37
Total	82.95

Tabla 7. Área por uso del suelo.
Fuente. Elaboración Propia

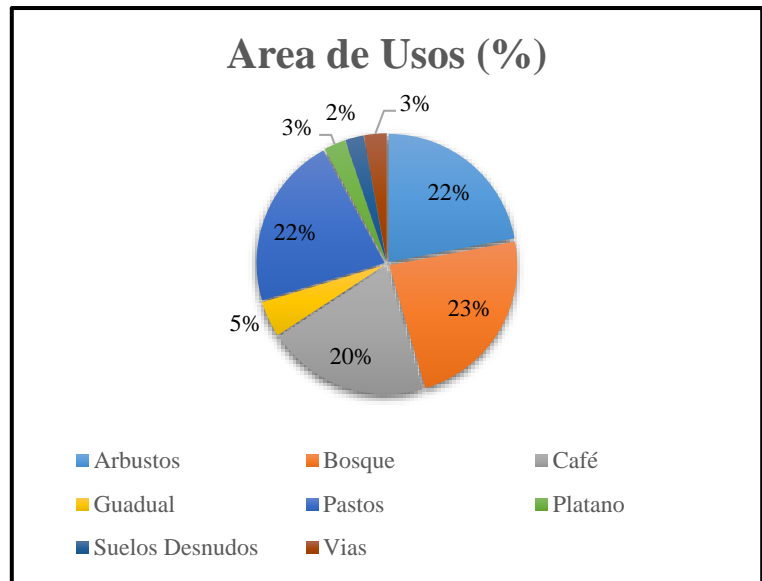


Gráfico 5. Área por uso del suelo.
Fuente. Elaboración Propia

La construcción del modelo Lluvia-Escurrentía, requiere del conocimiento de la mayor cantidad de variables y características tanto meteorológicas como de usos del suelo, de esta manera mediante la determinación de variables como la escurrentía, la evaporación y la percolación de las microcuencas de interés, se pueden estimar los caudales de sus corrientes principales.

Dentro de las variables de usos del suelo que requiere el modelo se encuentran cada una de las listadas a continuación, dichas variables son las encargadas de condicionar el modelo para que sus estimaciones logren ser más afines a la realidad

Cobertura	Kc	SWC	DWC	RRF	RZC	DC	PFD
Arbustos	1.05	600	800	2	20	80	0.5
Bosque	1.1	800		2	20		0.3
Café	0.95	600		2	20		0.6
Pastos	0.75	500		2	20		0.65
Plátano	1.2	600		2	20		0.5
Suelos Desnudos	0.75	300		2	20		0.7
Vías	0.75	300		2	20		0.7
Guadual	1.1	800		2	20		0.3

Tabla 8. Variables para usos del suelo.
Fuente. Grupo EIS, 2018

Los valores utilizados en los modelos se obtuvieron mediante el apoyo del Grupo de Investigación en Ecología, Ingeniería y Sociedad de la Universidad Tecnológica de Pereira, el cual ha generado procesos de modelación hídrica para diferentes lugares que poseen características morfológicas similares al área de estudio, al igual que coberturas y usos del suelo.

Catchment

El concepto de Catchment se puede entender como una unidad de análisis hidrológico, es decir el área de interés que se desea modelar y analizar. Para el presente caso el área de interés corresponde a la oferta hídrica del acueducto es decir el área de cobertura previa a las captaciones del acueducto, estableciendo así el límite tanto del sistema como del modelo.

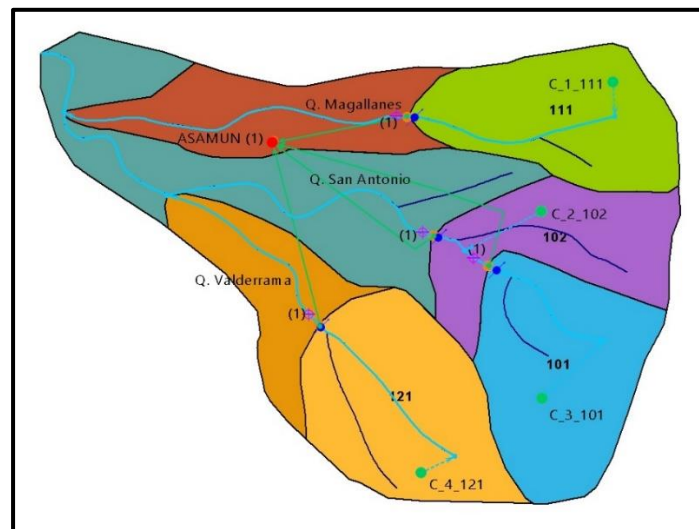


Ilustración 4. Esquema del modelo en WEAP.
Fuente. Elaboración Propia

Para la elaboración del modelo se establecieron 4 Catchment, estos se nombraron a partir de su nivel de representación dentro del sistema. Principalmente en la quebrada San Antonio, que es la microcuenca y cauce principal se establecieron los Catchment 101 y 102, ubicados respectivamente antes de las bocatoma Carrillo 1 y Carrillo 2. En la quebrada Magallanes se estableció el Catchment 111 antes de la bocatoma Mendoza y finalmente en la quebrada Valderrama se estableció el Catchment 121 aguas arriba de la bocatoma Valderrama.

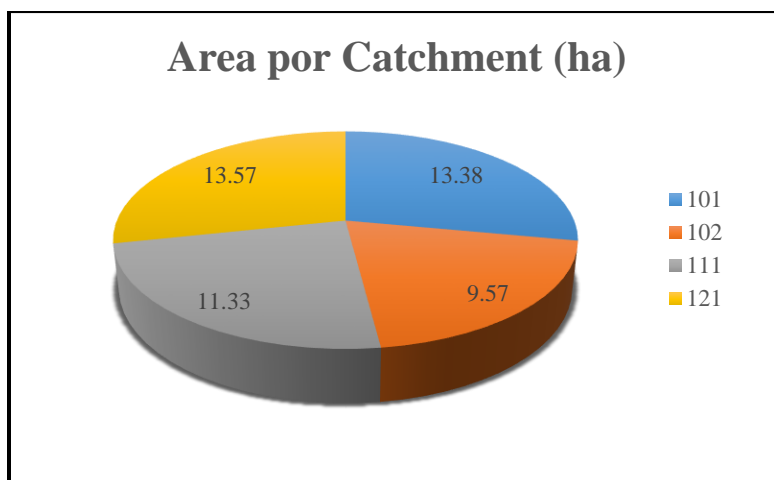


Gráfico 6. Área total por cada Catchment.
Fuente. Elaboración Propia

Los Catchment en total corresponden a 47.83 ha, los cuales se dividen en 13.38 ha, 9.57 ha, 11.33 ha y 13.57 ha, que corresponden a su orden establecido previamente. Adicionalmente es necesario conocer el porcentaje de cobertura que posee cada Catchment con respecto al total de su área lo cual se puede evidenciar a continuación.

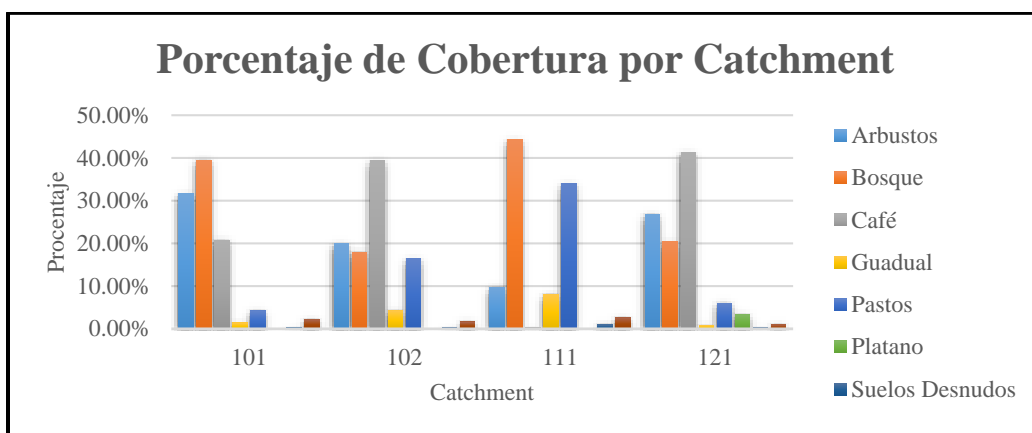


Gráfico 7. Porcentaje de cobertura por Catchment.
Fuente. Elaboración Propia

Catchment	Arbustos	Bosque	Café	Guadual	Pastos	Plátano	Suelos Desnudos	Vías	Total
101	31.63%	39.51%	20.76%	1.42%	4.20%	0.00%	0.31%	2.18%	100%
102	20.02%	17.94%	39.33%	4.25%	16.49%	0.00%	0.34%	1.62%	100%
111	9.77%	44.29%	0.29%	8.02%	33.99%	0.00%	1.04%	2.59%	100%
121	26.76%	20.36%	41.24%	0.85%	6.06%	3.33%	0.37%	1.02%	100%

Tabla 9. Porcentaje de cobertura por Catchment.
Fuente. Elaboración Propia

Cabe mencionar que la información meteorológica presentada anteriormente, también hace parte de los datos requeridos para la creación y modelación de cada Catchment.

Caracterización de la demanda

Suscriptores

La vereda mundo nuevo cuenta con un total de 365 suscriptores para el año 2017 los cuales se dividen en 4 tipos. Principalmente las viviendas con un total de 341 suscriptores, la industria con 11 suscriptores, el comercio con 7 suscriptores y los oficiales – especiales con 6 suscriptores.

Estrato	Número de Suscriptores
1	51
2	98
3	68
4	69
5	35
6	20
Industrial	11
Comercial	7
Oficial - Especial	6
Total	365

Tabla 10. Número de suscriptores por clasificación.
Fuente. ASAMUN, 2018

A partir de lo anteriormente mencionado se podría establecer una población promedio de 1364 habitantes, suponiendo que los suscriptores de viviendas se conformen por familias de 4 personas.

CONSUMO DE AGUA

La vereda Mundo Nuevo presenta un consumo de anual de 82.102 m³ para el año 2017, de los cuales la mayor parte se demanda en los estratos 2 y 4.

Estrato	Consumo Anual Total
1	9400
2	17882
3	11033
4	16081
5	5916
6	2976
Industrial	7835
Comercial	7612
Oficial - Especial	3367
Total	82102

Tabla 11. Consumo anual total.
Fuente. ASAMUN, 2018

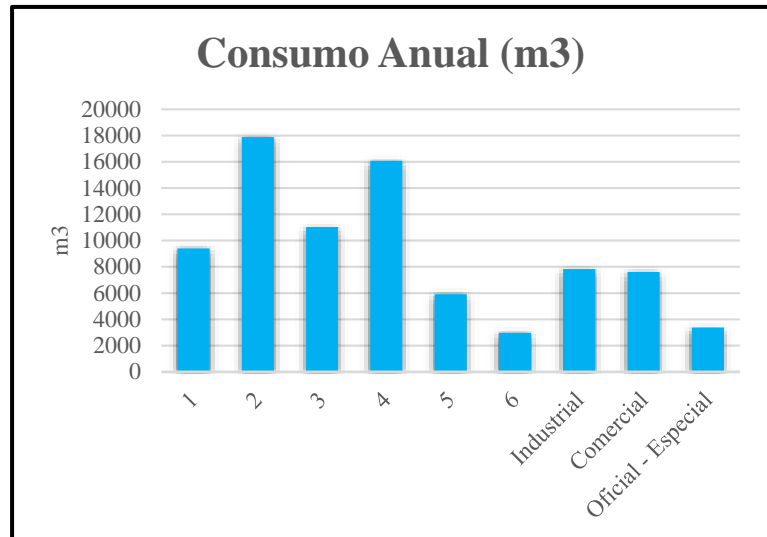


Gráfico 8. Consumo anual total.
Fuente. ASAMUN, 2018

Adicionalmente, la creación del modelo dispuso del conocimiento del consumo anual por suscriptor, en donde el mayor consumo lo generan los suscriptores industriales, comerciales y oficiales-especiales.

Estrato	Consumo Anual
1	184.31
2	182.47
3	162.25
4	233.06
5	169.03
6	148.80
Industrial	712.27
Comercial	1087.43
Oficial - Especial	561.17
Total	3440.79

Tabla 12. Consumo anual por suscriptor.
Fuente. ASAMUN, 2018

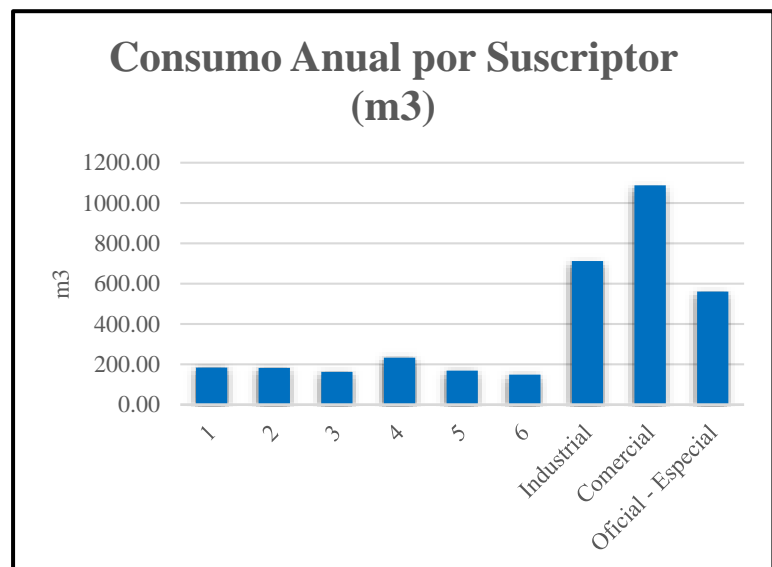


Gráfico 9. Consumo anual por suscriptor
Fuente. ASAMUN, 2018

Pérdidas

Mes	Pérdidas
Enero	40%
Febrero	30%
Marzo	32%
Abril	31%
Mayo	36%
Junio	15%
Julio	35%
Agosto	32%
Septiembre	37%
Octubre	29%
Noviembre	38%
Diciembre	26%
Promedio	31.75%

Tabla 13. Pérdidas mensuales.

Fuente. ASAMUN, 2018

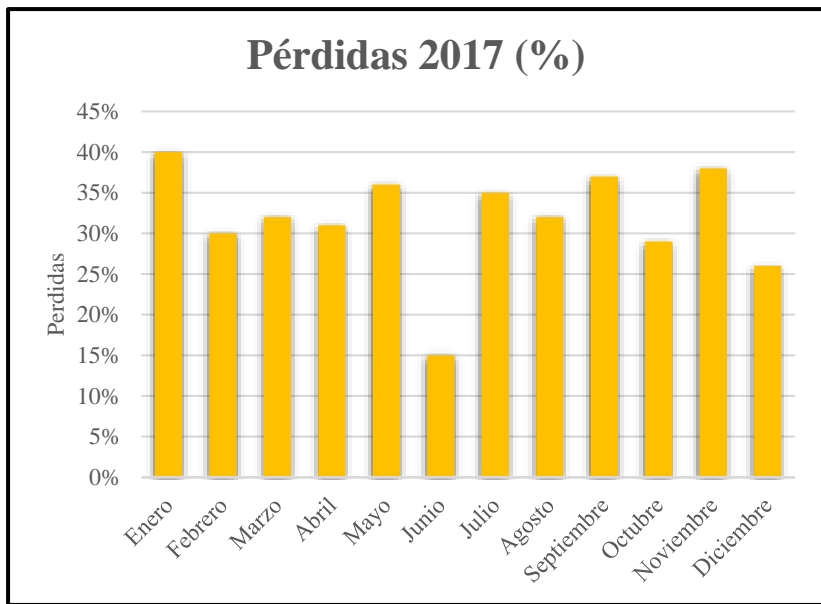


Gráfico 10. Pérdidas mensuales.

Fuente. ASAMUN, 2018

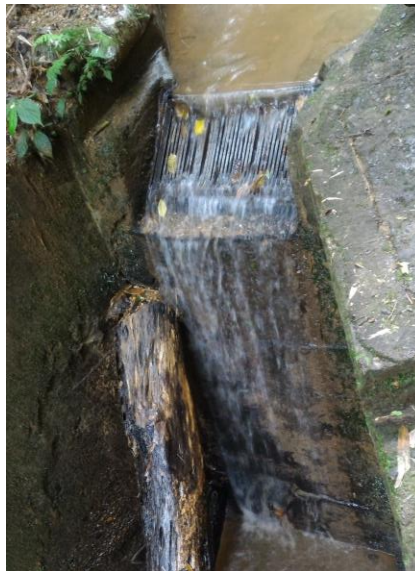
En el año 2017 las pérdidas promedio del acueducto se establecieron en 31.75% ($\sigma = 7\%$), con su máximo valor en el mes de enero con un 40% y con su menor valor el mes de junio con 15%. Cabe resaltar que el acueducto se encuentra en un punto crítico donde solo en 4 meses correspondientes a febrero, junio, octubre y diciembre logro permanecer bajo el máximo permisivo de pérdidas establecido por la resolución CRA 151 de 2001, la cual dictamina que el nivel máximo de agua no contabilizada que se aceptará para el cálculo de los costos de la prestación del servicio de acueducto será del 30%.

Sistema de Acueducto Comunitario de la Vereda Mundo Nuevo – ASAMUN

Sistema de captación

Bocatoma carrillo 1

Se encuentra ubicada en la vereda Morrón – La Estrella, en la quebrada San Antonio y cuenta con una concesión de aguas de 2.5 l/s. Está construida a partir de una rejilla de tubos de acero de ½” con dimensiones de 80 cm x 30 cm. Su infraestructura es de concreto la cual canaliza la totalidad del cauce y hace que este pase por la rejilla, captando su máxima capacidad y permitiendo el flujo de la quebrada por reboce.



*Ilustración 5. Bocatoma Carrillo 1.
Fuente. Propia.*

Bocatoma carrillo 2

Se encuentra ubicada en la vereda Morrón – La Estrella, en la quebrada San Antonio y cuenta con una concesión de aguas de 0.5 l/s. Está construida a partir de una rejilla de tubos de acero de ½” con dimensiones de 100 cm x 30 cm. Su diseño canaliza la totalidad del cauce y posteriormente permite el flujo de la quebrada por una tubería de acero de 3”.



*Ilustración 6. Bocatoma Carrillo 2.
Fuente. Propia*

Bocatoma Valderrama

Se ubica en la vereda El Chocho, en la quebrada Valderrama y cuenta con una concesión de aguas de 1.5 l/s. Su infraestructura se conforma de una rejilla de tubos de acero de $\frac{1}{2}$ ", con una dimensión de 50 cm x 25 cm. La rejilla capta la totalidad del cauce de la quebrada, parte de este cauce se desvía al desarenador de la bocatoma y la otra continua en la quebrada saliendo por un tubo de $2\frac{1}{2}$ ".



*Ilustración 7. Bocatoma Valderrama.
Fuente. Propia*

Bocatoma Mendoza

Se ubica en la vereda Morrón La Estrella, en la quebrada Magallanes y cuenta con una concesión de aguas de 0.5 l/s. Se constituye de una rejilla de acero de tubos de $\frac{1}{2}$ " con una medida de 70cm x 25cm. La rejilla capta la totalidad del cauce y por rebose el agua sigue el flujo ordinario de la quebrada.



*Ilustración 8. Bocatoma Mendoza.
Fuente. Propia*

Sistema de Aducción

El sistema de captación posee desarenadores independientes por cada una de las bocatomas, cuya función es retirar la mayor cantidad de sólidos existentes en el agua antes de llegar a la planta de tratamiento. Posteriormente el agua pasa al sistema de aducción, el cual está construido a partir de tuberías de 2" en PVC para las bocatomas Carrillo 2 y Valderrama, de 3" en PVC para la bocatoma Carrillo 1 y de $\frac{1}{2}$ " en PVC para la Bocatoma Magallanes. Posee una distancia total aproximada de 1.5 km finalizando en tanque receptor de la planta de potabilización.

Planta de Tratamiento

La Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua de Mundo Nuevo, cuentan con la tecnología de planta de tratamiento por Filtración en Múltiples Etapas (FIME), la cual fue construida por el Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA), de la Universidad del Valle.

La estructura de entrada de la Planta de tratamiento de agua potable consiste en un tanque de aquietamiento donde llegan las tuberías de cada una de las captaciones. Una vez el agua llega a la cámara de aquietamiento pasa a un vertedero de sección triangular de 14 cm de lámina de agua.

La filtración por múltiples etapas posee un canal que lleva el agua captada a dos filtros dinámicos, de allí pasa el agua dos filtros de flujo ascendente y finalmente pasa a cuatro filtros lentos de arena.

Posteriormente el agua es enviada al sistema de almacenamiento de la planta de tratamiento, el cual consiste en 2 tanques con capacidad de 94 m³ y 103 m³, los cuales se abastecen a través de una tubería de 4”.



*Ilustración 9. Planta de Potabilización de ASAMUN.
Fuente. Propia*

Sistema de Distribución

La red de distribución del sistema de acueducto de la vereda Mundo Nuevo posee una cobertura del 100% de la población de la vereda, conformada por tuberías de PVC entre 1” y 4” pulgada de diámetro, con un aproximado de 9.2 km de tuberías.

La red posee la infraestructura de espina de pescado, es decir que se extiende a lo largo de la vía y abastece a los usuarios que están a los costados de esta. Al no poseer redes secundarias genera una ineficiente sectorización, que posteriormente se ve subsanada por 3 estaciones reguladoras de presión.

Modelo de Gestión – Año Base

El modelo fue construido mediante el uso de software Water Evaluation And Planning (WEAP), a partir del método Lluvia – Escorrentía (Soil Moisture Method), el cual se basa en información climática y usos del suelo para determinar parámetros y valores como evaporación, escorrentía y percolación de una cuenca, cabe resaltar que el modelo de gestión se compone de dos modelos, uno modelo de Lluvia – Escorrentía y un modelo de Oferta – Demanda.

El modelo Lluvia – Escorrentía permite, además, estimar el caudal de una o más corrientes hídricas que para este caso hace referencia a las 3 quebradas que abastecen a la vereda Mundo Nuevo.

El modelo Oferta – Demanda, se construye partir de información de caudales de fuentes de abastecimiento y datos de demanda hídrica de una comunidad en específico. Dicho modelo permite conocer la capacidad de cobertura de una fuente abastecedora en relación con su demanda total.

A partir de lo mencionado anteriormente, lo que se busca en el modelo es determinar el estado de la vereda para el año base, que para el presente caso se establecerá como el año 2017, puesto que es el último año del cual se posee toda la información requerida para la construcción del mismo.

Modelo Lluvia – Escorrentía

Este modelo se construyó a partir de 3 elementos del software WEAP: Catchment, Runoff/Infiltration y River. Como se mencionó anteriormente, el modelo cuenta con 4 Catchment, cada uno con su respectivo Runoff/Infiltration, los cuales se conectan con cada uno de las quebradas para determinar así el caudal aproximado de estas. Los resultados del modelo pueden evidenciarse a continuación para cada una de las quebradas.

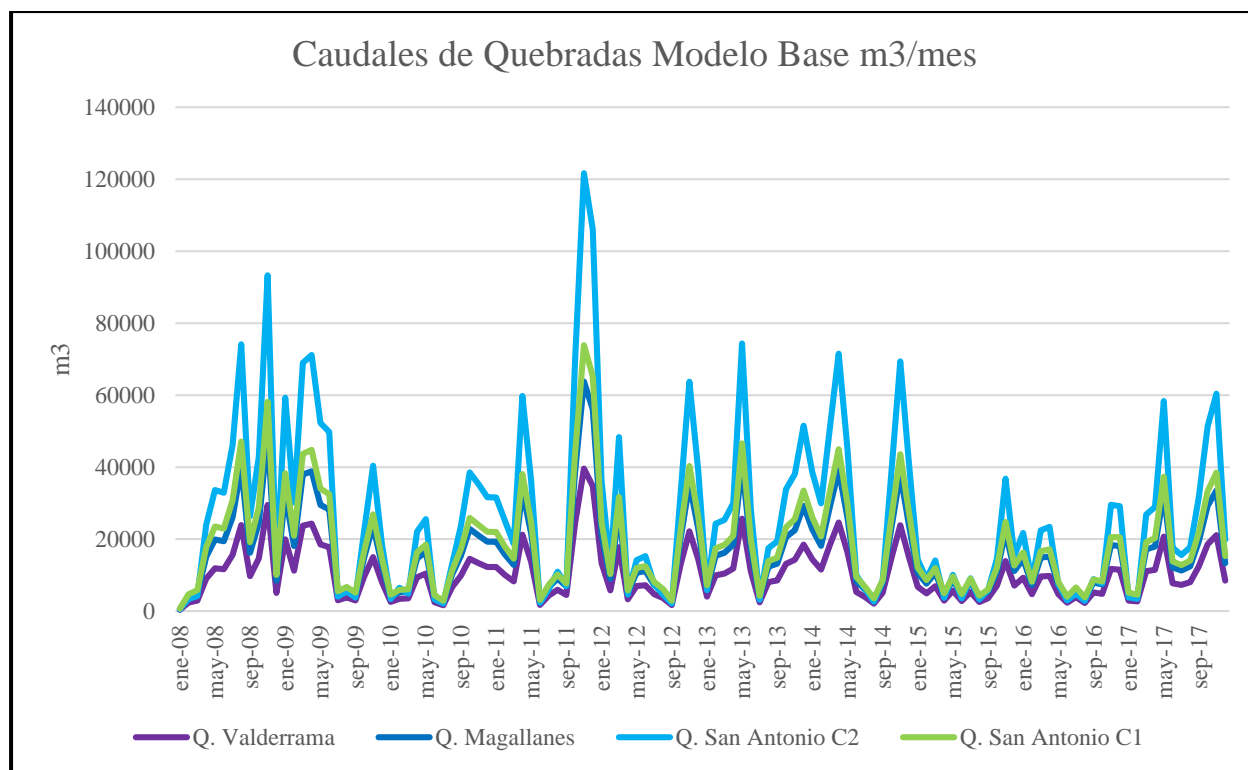


Gráfico 11. Caudales de quebradas en modelo base.

Fuente. Elaboración Propia

La modelación base se elaboró a partir del año 2008 hasta el año 2017, si bien el año base se estableció en 2017, es necesaria la modelación de la totalidad de información meteorológica existente para dar un sustento a los valores obtenidos.

Para el presente caso existen 2 momentos claves que permiten determinar que el modelo se asemeja a la realidad del comportamiento de las microcuencas. El principal es los valores máximos obtenidos entre los meses de septiembre de 2011 y enero de 2012. Dicho valor ocurre en uno de los mayores fenómenos de la niña registrados en la ciudad de Pereira, el cual generó un gran creciente en los principales cuerpos de agua del municipio, como lo es el río Otún. Dicho comportamiento se ve reflejado en las diferentes quebradas que abastecen la vereda Mundo Nuevo, las cuales presentan un máximo valor de caudal para la fecha.

El segundo factor clave fueron los aforos realizado con el apoyo de la Red Hidroclimatológica de Risaralda. Los valores de caudal obtenidos representan en parte el comportamiento del modelo, ya que se encuentran dentro del rango de valores mensuales arrojados por el modelo, asociados a épocas de pocas lluvias y secas.

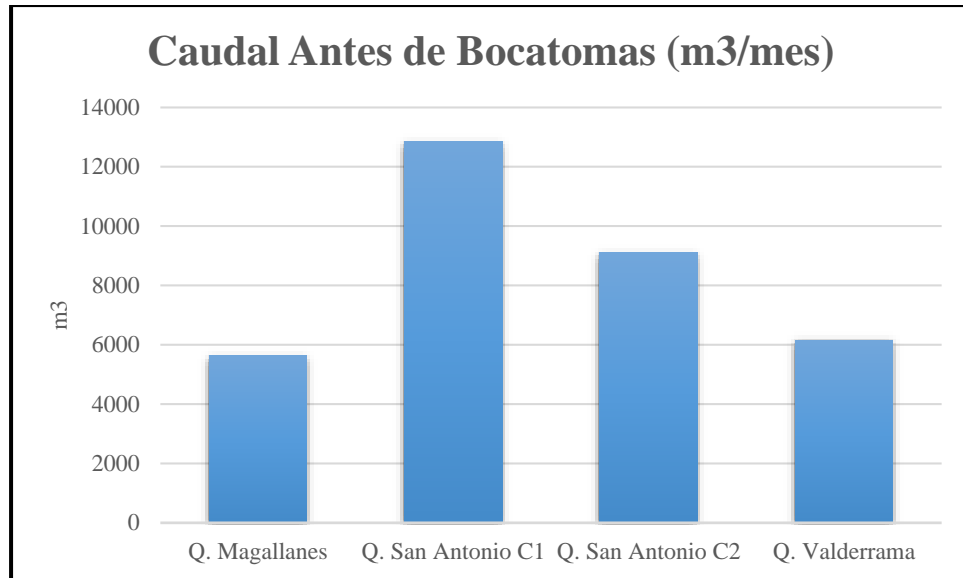


Gráfico 12. Caudales antes de bocatoma aforados.
Fuente. Elaboración Propia

Modelo Oferta-Demanda

El modelo se construyó a partir de 3 elementos del software WEAP: River, Demand Site y Transmission Link. El modelo recolecta todos los datos incluidos anteriormente en el documento y a partir de este determina la capacidad del sistema hídrico para abastecer y cubrir la demanda total de agua en la vereda.

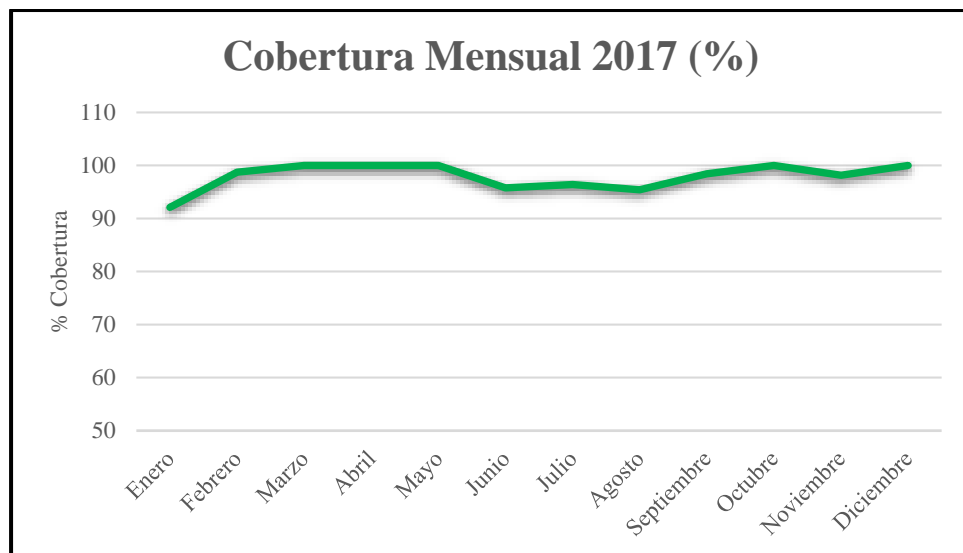


Gráfico 13. Cobertura mensual de la demanda.
Fuente. ASAMUN, 2018

Si bien en la realidad, el sistema de acueducto cubre el 100% de la demanda hídrica de la vereda Mundo Nuevo, el modelo arroja los presentes valores debido a que el este considera que la máxima captación del acueducto es de 5.0 l/s, no obstante, el acueducto presenta una captación mayor como resultado de la carencia de la carencia de válvulas de regulación en el sistema de aducción, lo cual impide poseer un control sobre el total de agua captada.

Lo anterior, de la mano con la magnitud de las pérdidas que presenta el sistema para el año 2017 genera que, en algunos meses, una captación de 5.0 l/s no sea suficientes para cubrir el 100% de la demanda hídrica, alcanzando así valores cercanos al 90% de cobertura total.

Modelo de Gestión – Escenarios Futuros

La construcción de escenarios futuros se generó a partir del establecimiento de los componentes X y L de la metodología de toma de decisiones robustas, compuestos por las incertidumbres que pueden afectar el sistema de acueducto y las estrategias que pueden ayudar a la mitigación de los impactos de dichas incertidumbres.

Se construyó el modelo de escenarios futuros a partir de las incertidumbres seleccionadas para cada escenario, los cuales se detallan a continuación.

Incertidumbres (X)	
Clima	
Precipitación	
Escenario 1	Aumento en un 18%
Escenario 2	Aumento en un 25%
Escenario 3	Disminución en un 18%
Temperatura	
Escenario 1	Aumento en 0.7 °C
Escenario 2	Aumento en 1.6 °C
Escenario 3	Aumento en 2 °C
Humedad Relativa	
Escenario 1	Disminución en un 2.5%
Escenario 2	Disminución en un 5%
Escenario 3	Disminución en un 7%
Población	
Escenario 1	Sin Aumento
Escenario 2	Aumento 1% Anual

Tabla 14. Incertidumbres establecidas para la modelación.

Fuente. Elaboración Propia

El escenario 1 hace referencia a las condiciones futuras que propone el IDEAM en su comunicado Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100, donde se estima que en el departamento de Risaralda la precipitación aumentará en un 18%, la Temperatura aumentará en 0.7°C y la Humedad Relativa disminuirá en 2.5% (IDEAM *et al.* 2015).

El escenario 2 se establece como un supuesto crítico en el cual la precipitación aumente en un 25%, la temperatura aumente en 1.6°C y la humedad relativa disminuya en un 5%. Por su parte el escenario 3, simula condiciones aún más críticas que si bien, la probabilidad de que eventos de tal magnitud ocurran son mínimas, se establecen como una posibilidad generando así condiciones de disminución en la precipitación del 18%, aumento en la temperatura de 2°C y disminución en la humedad relativa de 7%.

La incertidumbre asociada al aumento de la población se establece para el escenario 1 como el no crecimiento y para el escenario 2 un crecimiento del 1% anual, lo anterior se determinó a partir del hecho de que al tratarse de una zona rural que no se cataloga como zona de expansión urbana del municipio, la cantidad de nuevos suscriptores que pueden generarse es muy limitada.

Modelo Lluvia-Escorrentía – Escenarios Futuros

Los resultados del modelo lluvia-escorrentía se obtuvieron a partir de las incertidumbres climáticas únicamente, para este caso la incertidumbre poblacional no se tiene en cuenta, ya que de este no depende la oferta de agua presente en las quebradas. A partir de lo anterior se obtuvieron 3 resultados, los cuales hacen referencia a los caudales de las diferentes quebradas para cada uno de los Escenarios.

Escenario	Incertidumbre
P18T0.7HR-2.5	Aumento de la Precipitación en un 18%
	Aumento de la Temperatura en 0.7 °C
	Disminución de la Humedad Relativa en 2.5%
P25T1.6HR-5	Aumento de la Precipitación en un 25%
	Aumento de la Temperatura en 1.6 °C
	Disminución de la Humedad Relativa en 5%
P-18T2HR-7	Disminución de la Precipitación en un 18%
	Aumento de la Temperatura en 2 °C
	Disminución de la Humedad Relativa en 7%

Tabla 15. Abreviación de cada escenario por incertidumbres.

Fuente. Elaboración Propia

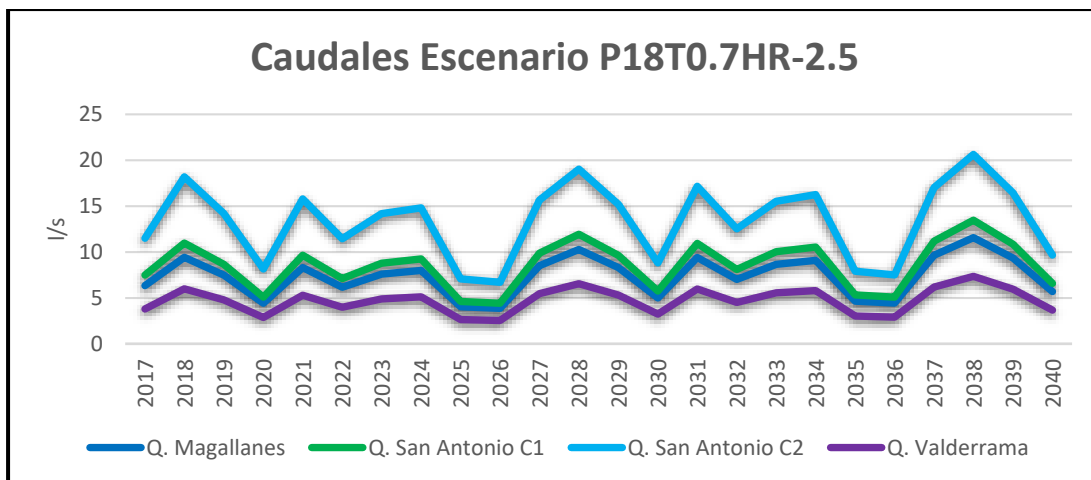


Gráfico 14. Caudales del Escenario P18T0.7HR-2.5.

Fuente. Elaboración Propia

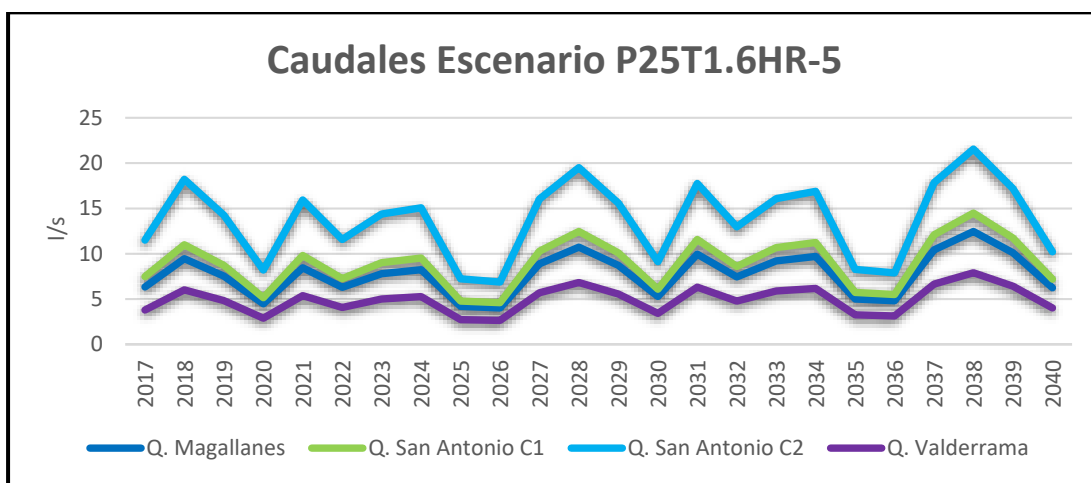


Gráfico 15. Caudales del Escenario P25T1.6HR-5

Fuente. Elaboración Propia

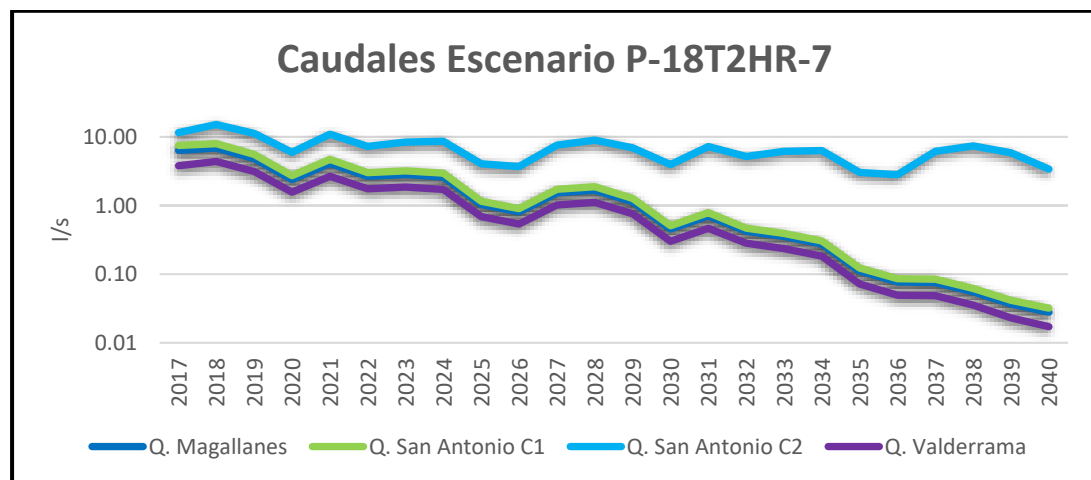


Gráfico 16. Caudales del Escenario P-18T2HR-7

Fuente. Elaboración Propia

Como se puede evidenciar, los escenarios en los cuales se generó un aumento en la precipitación, los caudales se mantienen estables, con valores máximos y mínimos semejantes a los resultados de caudales para el modelo base. Las leves diferencias entre el aumento del 18% al 25% se deben a que al aumentar la temperatura y reducir la humedad relativa del segundo caso, el aumento en los caudales sea relativamente poco, casi de 1 l/s en promedio para cada quebrada en cada año.

Para el caso de la reducción crítica de la precipitación y humedad relativa, con un aumento en la temperatura, la mayoría de quebradas tienden a cercarse a 0 l/s, generando un estado crítico suponiendo que dicho escenario ocurriese. En términos de conservación, la quebrada San Antonio posee una capacidad de adaptación mayor frente al cambio climático en relación con la quebrada Magallanes y la quebrada Valderrama.

Modelo oferta-demanda – escenarios futuros

La construcción del modelo oferta-demanda da respuesta tanto al segundo, como al tercer objetivo específico del presente documento, debido a que el análisis de los diferentes escenarios se realizó a partir de las estrategias de adaptación (L) establecidas para la mitigación de los impactos y la adaptación al Cambio Climático

A continuación, se detallan cada una de las estrategias de mitigación establecidas para la modelación de los escenarios futuros.

Estrategias (L)	
Perdidas	
Escenario 1	Sin disminución
Escenario 2	Con disminución hasta 20%
Consumo	
Escenario 1	Sin disminución
Escenario 2	Con disminución del 2% anual
Coberturas	
Escenario 1	Sin conversión
Escenario 2	Reconversión de 50% para Pastos y Café a Bosque
Captaciones	
Escenario 1	Sin aumento
Escenario 2	Aumento a 10 l/s

Tabla 16. Estrategias establecidas para la modelación de escenarios futuros.

Fuente. Elaboración Propia

Para el caso de los escenarios futuros del modelo oferta-demanda, se utilizaron las mismas estrategias para cada escenario de incertidumbre. Por lo cual el escenario 1 corresponde al estado actual de cada elemento del sistema. Por su parte el escenario 2, establece la disminución de las pérdidas del sistema de un 31.75% en promedio para el año 2017, a un 20% para el año 2040, adicionalmente se propone la disminución del consumo de agua en un 2% anual, posteriormente se formula la reconversión de usos del suelo cambiando el 50% tanto de pastos como café a bosque, finalmente se plantea el aumento de las concesiones de aguas para generar una captación de 10 l/s.

Es importante resaltar que en el modelo oferta-demanda se realizó incluyendo la incertidumbre de aumento de la población.

		Captación							
		Aumento a 10 l/s							
		Consumo de Agua							
		Disminución del 2% Anual				Sin Disminución			
		Reconversión							
		Reconversión de 50%		Sin Reconversión		Reconversión de 50%		Sin Reconversión	
		Pérdidas							
		Disminución Hasta 20%	Sin Disminución	Disminución Hasta 20%	Sin Disminución	Disminución Hasta 20%	Sin Disminución	Disminución Hasta 20%	Sin Disminución
Población	Clima								
Crecimiento 1%	P18T0.7HR-2.5	13.19	13.19	12.85	12.85	15.97	15.97	15.97	15.97
	P25T1.6HR-5	12.5	12.5	12.15	12.15	15.28	15.28	14.24	14.24
	P-18T2HR-7	71.53	71.53	71.53	71.53	73.96	73.96	73.26	73.26
Sin Crecimiento	P18T0.7HR-2.5	12.15	12.15	12.15	12.15	14.58	14.58	14.24	14.24
	P25T1.6HR-5	11.81	11.81	11.46	11.46	14.24	14.24	14.24	14.24
	P-18T2HR-7	71.53	71.53	71.18	71.18	72.92	72.92	72.92	72.92

Tabla 17. Riesgo de desabastecimiento por escenario con aumento de captaciones.

Fuente. Elaboración Propia

		Captación							
		Sin Aumento							
		Consumo de Agua							
		Disminución del 2% Anual				Sin Disminución			
		Reconversión							
		Reconversión de 50%		Sin Reconversión		Reconversión de 50%		Sin Reconversión	
		Pérdidas							
Población	Clima	Disminución Hasta 20%	Sin Disminución	Disminución Hasta 20%	Sin Disminución	Disminución Hasta 20%	Sin Disminución	Disminución Hasta 20%	Sin Disminución
Crecimiento 1%	P18T0.7HR-2.5	16.67	16.67	16.67	16.67	21.18	21.18	21.18	21.18
	P25T1.6HR-5	15.63	15.63	15.28	15.28	20.83	20.83	20.83	20.83
	P-18T2HR-7	77.43	77.43	77.43	77.43	79.17	79.17	78.82	78.82
Sin Crecimiento	P18T0.7HR-2.5	14.24	14.24	14.24	14.24	20.14	20.14	20.14	20.14
	P25T1.6HR-5	13.54	13.54	13.54	13.54	18.75	18.75	18.75	18.75
	P-18T2HR-7	76.39	76.39	76.39	76.39	78.47	78.47	78.13	78.13

Tabla 18. Riesgo de desabastecimiento por escenario sin aumento de captaciones.

Fuente. Elaboración Propia

Como se mencionó anteriormente, el objetivo del modelo oferta-demanda es determinar la capacidad del sistema para cubrir la demanda hídrica total de la vereda Mundo Nuevo, por lo cual se estableció como medida de desempeño (M), la capacidad de las estrategias propuestas (L), para que, frente a una serie de incertidumbres (X), logre generar estado de riesgo igual o cercano al 0%, como resultado de las interacciones y relaciones (R) que se generen entre dichas variables.

Teniendo esto claro, la información de las tablas 17 y 18, hace referencia al riesgo de desabastecimiento hídrico, es decir a mayor valor, mayor el riesgo que la vereda presente desabastecimiento hídrico en dicho escenario.

En total se obtuvieron 96 escenarios, de los cuales se obtuvieron 2 escenarios con un mayor riesgo de desabastecimiento hídrico, con un 79.17%, mientras que el menor riesgo fue 11.46%, obtenida también por 2 escenarios.

Debido a que en términos prácticos no es viable detallar cada uno de los 96 escenarios, se determinó que solo se profundizaran 2 escenarios, siendo estos, el más crítico que no incluya la mayoría de estrategias y el menos crítico que incluya la mayoría de las estrategias. Lo anterior se hace con el fin de determinar el estado en el cual se puede llegar a encontrar el sistema en los extremos posibles.

El primer escenario a analizar será el crítico de 79.17% de riesgo de desabastecimiento, el cual presenta además las siguientes incertidumbres y estrategias.

Escenario Critico	
Incertidumbres	
Precipitación	Disminución en un 18%
Temperatura	Aumento en 2 °C
Humedad Relativa	Disminución en un 7%
Población	Aumento 1% Anual
Estrategias	
Captaciones	Sin Aumento
Consumos	Sin Disminución
Usos	Reconversión de 50% para Pastos y Café a Bosque
Perdidas	Sin Disminución

Tabla 19. Características del Escenario Critico Seleccionado.
Fuente. Elaboración Propia

El presente escenario presenta los siguientes resultados en términos de cobertura tanto de demanda hídrica de la vereda, como del caudal ecológico de las diferentes quebradas.

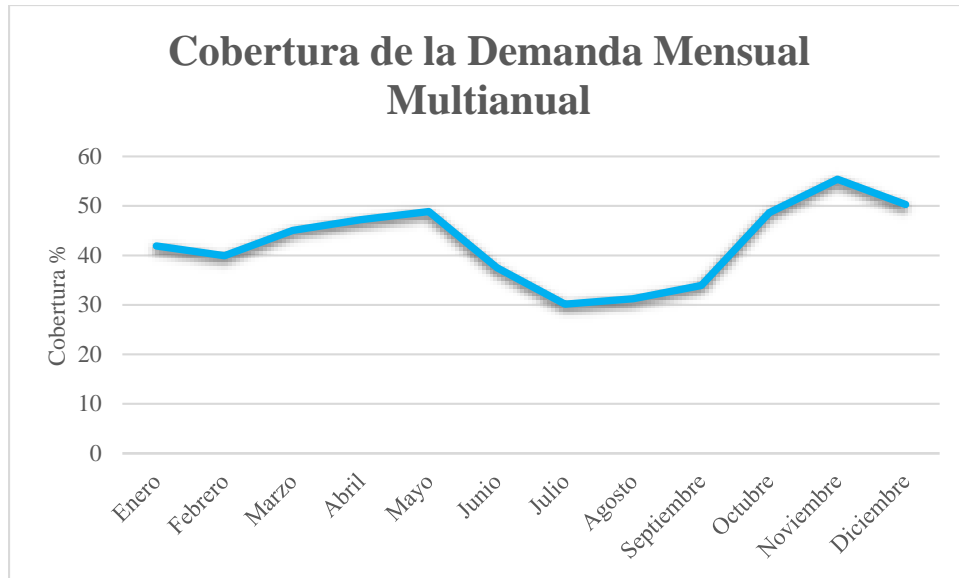


Gráfico 17. Cobertura Mensual Multianual del Escenario Crítico.
Fuente. Elaboración Propia

A partir del promedio mensual multianual se pudo determinar que la cobertura de la demanda hídrica del presente escenario no logra cubrir el total de la demanda en promedio, y que por el contrario solo entre octubre y diciembre logra tan siquiera cubrir más del 50%.

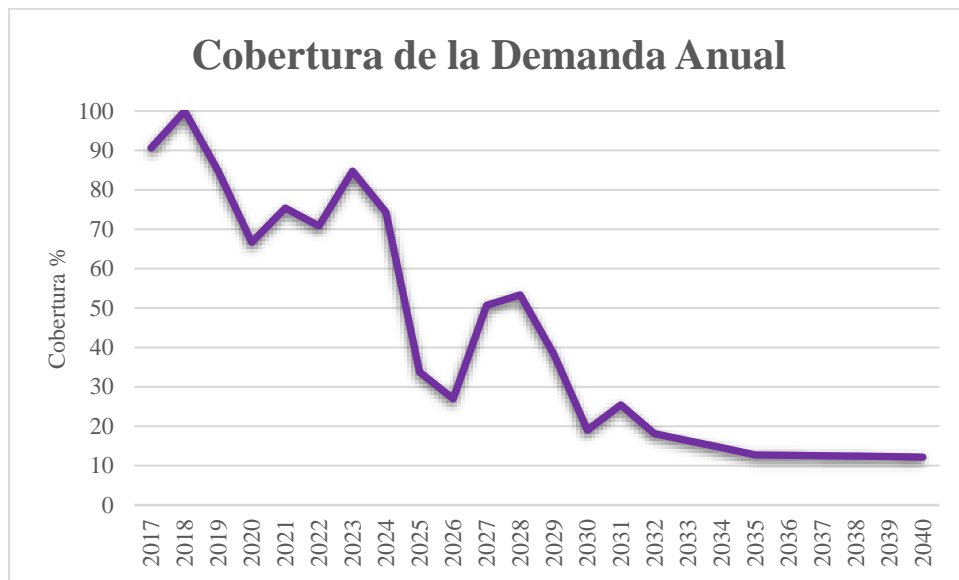


Gráfico 18. Cobertura de la Demanda Anual del Escenario Crítico.
Fuente. Elaboración Propia

Por su parte la demanda total anual solo se logra satisfacer en un 100% en el año 2018, en adelante la cobertura de la demanda disminuye notablemente alcanzando valores mínimos de tan solo el 10% de cobertura total.

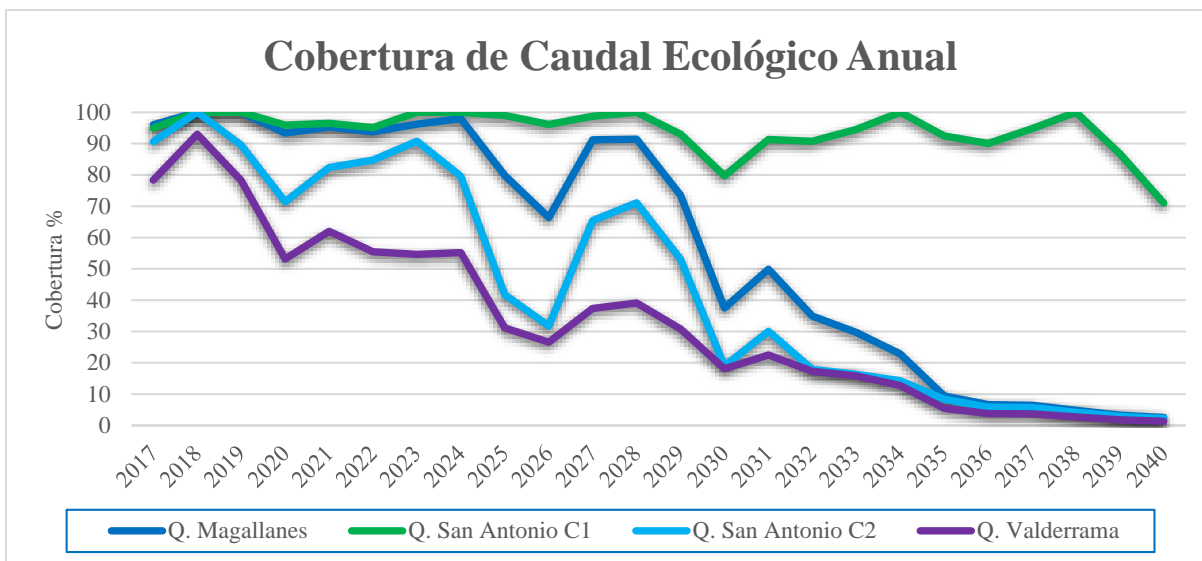


Gráfico 19. Cobertura Anual del Caudal Ecológico de cada quebrada para escenario crítico.
Fuente. Elaboración Propia.

A su vez, los caudales ecológicos de las quebradas establecidos a partir de la Resolución 865 de 2004, como el 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente de estudio, presentan coberturas inferiores al 100% en la mayoría de los años, la quebrada San Antonio previa a su segunda captación, logra cubrir un mayor número de veces el 100% del caudal ecológico, no obstante, no es una cobertura constante.

El segundo escenario a analizar será el más favorable con tan solo un 11.46% de riesgo de desabastecimiento, el cual se generó a partir de las siguientes incertidumbres y estrategias.

Escenario Favorable	
Incertidumbres	
Precipitación	Aumento en un 25%
Temperatura	Aumento en 1.6 °C
Humedad Relativa	Disminución en un 5%
Población	Sin Aumento
Estrategias	
Captaciones	Aumento a 10 l/s
Consumos	Disminución de 2% Anual
Usos	Sin Reconversión
Perdidas	Disminución Hasta el 20%

Tabla 20. Características del Escenario Favorable Seleccionado.

Fuente. Elaboración Propia

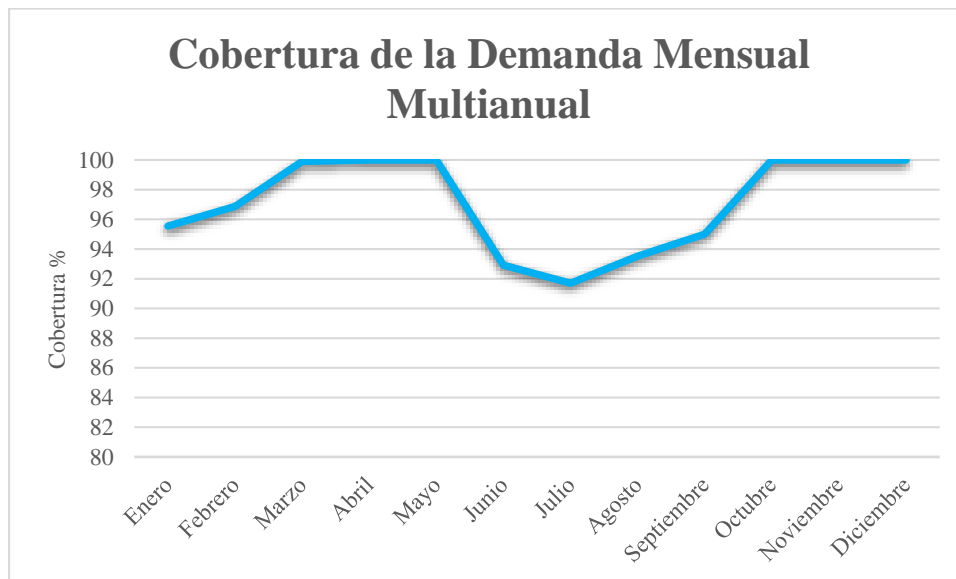


Gráfico 20. Cobertura Mensual Multianual del Escenario Favorable.

Fuente. Elaboración Propia.

A partir del promedio mensual multianual se pudo determinar que la cobertura de la demanda hídrica del presente escenario, si bien no logra cubrir en la mayoría de meses el total de la demanda, dicho valor no cae bajo el 90%, lo cual en términos de riesgo por desabastecimiento hídrico se puedan asumir como mínimos.

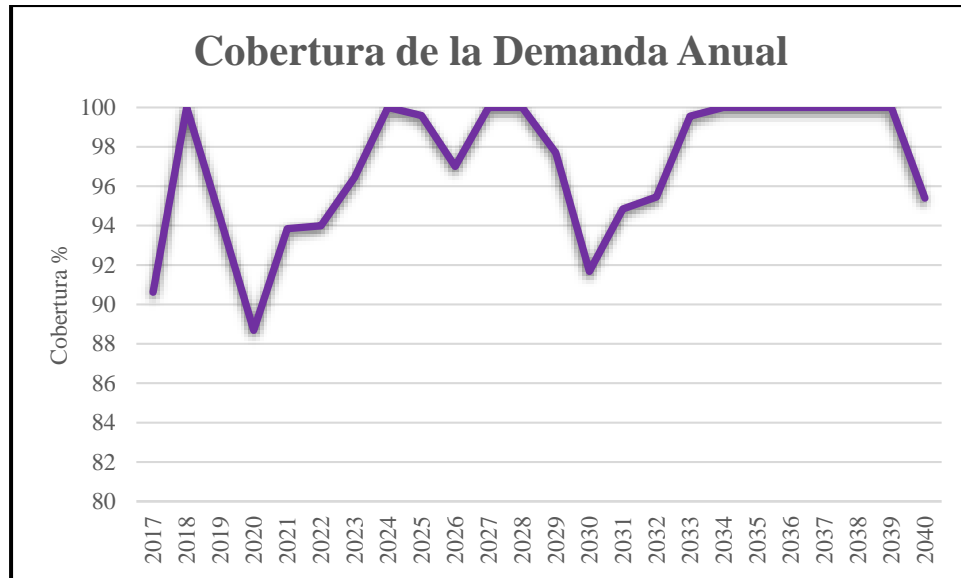


Gráfico 21. Cobertura de la Demanda Anual del Escenario Crítico.
Fuente. Elaboración Propia.

Posteriormente la demanda total anual posee valores mínimos de cobertura cerca del 90%, y logra cubrir el 100% a mediados y finales del tiempo de modelación. Lo anterior representa un escenario óptimo en cuanto a condiciones de abastecimiento hídrico.

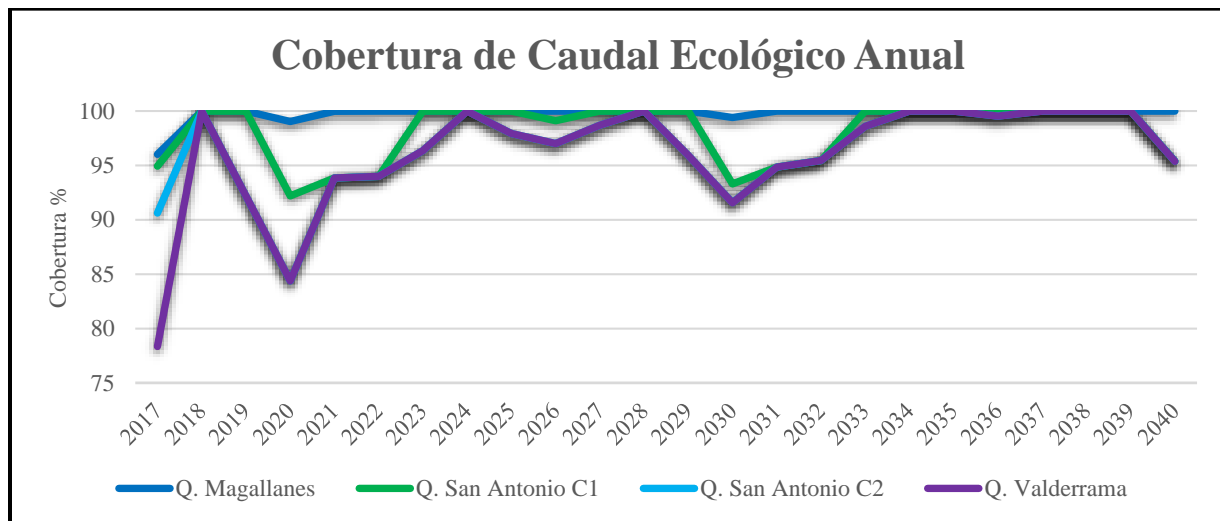


Gráfico 22. Cobertura Anual del Caudal Ecológico de cada quebrada para escenario favorable.
Fuente. Elaboración Propia

En relación con el caudal ecológico de las quebradas, el escenario muestra una tendencia a la cobertura por encima del 95% en la mayoría de los casos, y un valor mínimo entre 75% y 80% presente en el año 2017.

Estrategias

A continuación, se profundizarán cada una de las estrategias propuestas para la mitigación de los impactos del Cambio Climático, en el sistema de acueducto de la vereda Mundo Nuevo, y se realizara un breve análisis de la efectividad que posee cada estrategia para mitigar el resigo por desabastecimiento hídrico, a partir de la comparación de un escenario aleatorio en el cual se aplique y no se aplique cada una de las estrategias propuestas. El escenario seleccionado para el análisis con cada una de las estrategias fue el siguiente.

Escenario Aleatorio	
Incertidumbres	
Precipitación	Aumento en un 18%
Temperatura	Aumento en 0.7 °C
Humedad Relativa	Disminución en un 2.5%
Población	Aumento 1% Anual
Estrategias	
Captaciones	Sin Aumento
Consumos	Sin disminución
Usos	Sin Reconversión
Perdidas	Sin Disminución

Tabla 21. Características del Escenario Aleatorio Seleccionado.

Fuente. Elaboración Propia

Disminución de las pérdidas

La disminución de las pérdidas se propone como una disminución gradual de las mismas, donde se estima un porcentaje de reducción para cada año, el cual se lograría a partir de la revisión, mantenimiento y actualización tanto del sistema de aducción como del sistema de distribución del acueducto comunitario. Aunque dicha estrategia puede llegar a ser crucial en términos de abastecimiento hídrico, también puede ser una de las más costosas, por lo cual su ejecución puede verse limitada por los recursos económicos que posea ASAMUN.

En términos de efectividad de la estrategia, tanto con la aplicación como sin ella, el riesgo de desabastecimiento es de 21.18%, en cuanto a términos de cobertura hídrica mensual multianual, los valores no varían. A partir de lo anterior se logró determinar que una disminución en las pérdidas de tan solo el 10% no es representativa.

El Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, en su título B, en el numeral 2.6.2, establece que el porcentaje de pérdidas admisibles en la red de distribución debe ser como máximo de un 7% (MVCT, 2010). De lo anterior se puede asumir que sería necesaria una disminución en las pérdidas en un 23% aproximadamente, lo cual representaría un reto muy grande, casi inalcanzable para un sistema de acueducto con las características socioeconómicas como lo es ASAMUN.

Disminución del consumo

La estrategia busca que, mediante la implementación de tecnologías ahorradoras de agua, educación ambiental, y en ciertos casos aumento en la tarifa del servicio, la población de la vereda disminuya su consumo gradualmente en un 2% anual. Esta puede llegar a ser una de las estrategias más viables, puesto que la educación sobre el uso y cuidado del agua, de la mano con las tecnologías ahorradoras, no representan una inversión económica considerable para ASAMUN.

A su vez el establecimiento de un aumento en el costo de la tarifa, forzaría a los usuarios del sistema de acueducto a reducir su consumo considerablemente, puesto que al afectar directamente sus finanzas se verán en la necesidad de minimizar su consumo innecesario para generar así un ahorro de carácter monetario.

En términos de disminución el riesgo de desabastecimiento hídrico, la aplicación de la estrategia establece un riesgo del 16.66%, mientras que la no aplicación establece uno del 21.18%. Lo anterior representa una efectividad del 5% en términos de disminución del riesgo, la cual puede considerarse como representativa para una estrategia que no requiere de una inversión económica mayor para su aplicación.

Reconversión de las Coberturas

Esta estrategia propone principalmente acciones de conservación y reforestación de los terrenos que componen las microcuencas de las cuales se abastece el sistema de acueducto. Se busca generar un cambio del 50% tanto para pastos como para cultivos de café, con el fin de mejorar considerablemente las condiciones físicas y ambientales de las microcuencas. Ahora bien, los recursos económicos pueden llegar a ser una limitante para esta estrategia, puesto que los planes de restauración no solo son costosos y complejos, sino que, se debe partir del hecho de que ASAMUN no es el propietario de todo el terreno que compone las microcuencas abastecedoras,

por lo cual la compra de predios debe ser la prioridad antes de generar un proceso de reconversión como tal.

Caudales de las quebradas con diferentes estrategias (l/s)								
Año	Con Reconversión de 50%				Sin Reconversión			
	Q. Magallanes	Q. San Antonio C1	Q. San Antonio C2	Q. Valderrama	Q. Magallanes	Q. San Antonio C1	Q. San Antonio C2	Q. Valderrama
2017	6.34	7.49	11.50	3.80	6.34	7.49	11.50	3.80
2018	9.32	10.96	17.34	5.97	9.56	10.99	17.47	6.02
2019	7.39	8.65	13.47	4.77	7.60	8.68	13.59	4.82
2020	4.34	5.08	7.65	2.85	4.52	5.10	7.74	2.89
2021	8.19	9.64	15.00	5.28	8.45	9.67	15.14	5.33
2022	6.08	7.09	10.63	3.97	6.28	7.12	10.74	4.01
2023	7.49	8.77	13.31	4.87	7.72	8.81	13.44	4.92
2024	7.89	9.25	13.85	5.10	8.13	9.28	13.98	5.15
2025	3.97	4.61	6.27	2.63	4.13	4.63	6.36	2.67
2026	3.79	4.41	5.82	2.52	3.96	4.43	5.91	2.56
2027	8.40	9.86	14.73	5.45	8.67	9.90	14.87	5.51
2028	10.16	11.93	17.96	6.53	10.43	11.96	18.10	6.59
2029	8.22	9.62	14.29	5.30	8.44	9.65	14.40	5.34
2030	4.91	5.74	8.12	3.22	5.10	5.77	8.21	3.26
2031	9.28	10.92	16.16	5.96	9.55	10.96	16.31	6.01
2032	6.92	8.08	11.52	4.50	7.14	8.11	11.63	4.55
2033	8.54	10.01	14.44	5.53	8.79	10.05	14.57	5.58
2034	8.98	10.53	15.03	5.78	9.23	10.57	15.15	5.84
2035	4.57	5.31	6.84	3.02	4.75	5.34	6.92	3.06
2036	4.36	5.08	6.43	2.89	4.54	5.10	6.52	2.93
2037	9.51	11.17	15.87	6.15	9.80	11.21	16.01	6.21
2038	11.45	13.45	19.37	7.33	11.73	13.49	19.51	7.39
2039	9.26	10.85	15.38	5.94	9.49	10.88	15.49	5.99
2040	5.61	6.57	8.72	3.66	5.81	6.60	8.81	3.70

Tabla 22. Caudales de las quebradas en el escenario aleatorio sin y con reconversión de usos del suelo.
Fuente. Elaboración Propia.

La estrategia como tal representa una efectividad mínima en términos de regulación hídrica, ya que los caudales de las diferentes quebradas disminuyen con la aplicación de la estrategia. Lo anterior demuestra que no necesariamente un cambio en las coberturas de las microcuencas necesariamente mejorar las condiciones hídricas de la zona, no obstante, el objetivo de dicha estrategia se puede replantear, con el fin de recuperar aspectos de importancia en el marco de la conservación, como lo es la biodiversidad o los demás servicios ecosistémicos que un bosque puede prestar a la comunidad.

Aumento en la Captación de Agua

Generar un aumento legal en la concesión de aguas otorgada por CARDER a ASAMUN, sería sin lugar a dudas la estrategia más viable y de menor esfuerzo económico, puesto que consiste en la solicitud formal del aumento en la captación de cada bocatoma, generando un cambio de 5 l/s a 10 l/s, valor que no se aleja de la realidad captada actualmente por el sistema de acueducto y que sin lugar a dudas puede llegar a ser necesario para generar una cobertura del 100% de la

demanda hídrica. El aumento que se propone es de 1.5 l/s para la bocatoma Mendoza, 3 l/s para Valderrama, 4 l/s para Carrillo 1 y 1.5 l/s para Carrillo 2.

De igual manera, es necesario reiterar en los respectivos análisis y estudios que se deben realizar previo a la solicitud de un aumento en la concesión de agua, puesto que el aumentar las captaciones en las bocatomas, impactaría directamente la disponibilidad de agua requerida para cubrir el caudal ecológico de cada fuente abastecedora. Es pertinente entonces, determinar la función tanto social como ecosistémica que poseen las quebradas, y establecer una priorización del uso del agua. En términos de reducción del riesgo por desabastecimiento, la estrategia representa una mejora del 6% cuando se es aplicada, pasando de un 21.18% a un 15.97% de riesgo por desabastecimiento hídrico.

Conclusiones y Recomendaciones

El Cambio Climático sin lugar a dudas representa uno de los mayores retos a los cuales nos deberemos enfrentar tanto en el presente como en un futuro próximo, es indispensable entonces, optar por estrategias de prevención y mitigación de los impactos que este pueda llegar a generar en el mundo, ya que no solo amenaza con afectar los diferentes ecosistemas el planeta, sino que, además, puede impactar directamente el común funcionamiento de los sistemas económicos y sociales a nivel mundial.

Un sistema de acueducto comunitario, sin lugar a dudas es un elemento indispensable en los sectores rurales de Colombia, donde el acceso al agua potable cada vez es más complicado. Gracias a estos se logra disminuir poco a poco la población vulnerable que no posee una fuente directa de agua. ASAMUN representa el resultado del esfuerzo de una comunidad que mediante la adecuada gestión de recursos logro establecer su fuente directa de abastecimiento de agua, y que a lo largo del tiempo mediante el establecimiento de alianzas y relaciones sociales ha logrado evolucionar para el bien de los habitantes de la vereda Mundo Nuevo.

La modelación de escenarios permite generar conocimiento sobre el estado actual y futuro de un sistema en específico. Si bien sus resultados no se pueden asemejar en un ciento por ciento a la realidad del sistema, estos brindan una base teórica a partir de la cual se pueden generar procesos de gestión, enfocados a la prevención y mitigación de impactos que puedan afectar un sistema. Para el caso de la modelación hídrica en específico, el software WEAP representa una herramienta robusta que permite no solo conocer el estado de un sistema hídrico, sino que, además, permite predecir el comportamiento del mismo, cuando este se puede ver afectado por un fenómeno externo o por diferentes estrategias de adaptación y mitigación.

El Administrador Ambiental como gestor del desarrollo y de tecnologías ambientalmente apropiadas, debe optar por apoyar los diferentes procesos de gestión hídrica que se puedan presentar en diferentes comunidades del territorio. Aportando una visión holística mediante técnicas y estrategias que permitan la unión de los sistemas ambiental, económico y social, para así lograr ser el puente entre la sociedad, la tecnología y el ambiente.

Finalmente, se recomienda a ASAMUN hacer uso del presente documento para generar estrategias que garanticen su continuidad en el tiempo, y que le permitan seguir prestando por

mucho tiempo, el excelente servicio de acueducto que actualmente abastece a la vereda Mundo Nuevo.

Bibliografía

- Asociación de Suscriptores del Servicio de Agua Potable de la Vereda Mundo Nuevo [ASAMUN]. (2017). Base de datos 2008-2017. Pereira.
- Banco Mundial. (09 de abril de 2014). *Cambio Climático: Perfil de resultados*. Obtenido de <http://www.bancomundial.org/es/results/2013/04/13/climate-change-results-profile>
- Cardona, E., & Rico, K. (2017). *Evaluación, ajuste e implementación del plan de uso eficiente y ahorro del agua en el acueducto comunitario de la vereda Mundo Nuevo de la ciudad de Pereira- ASAMUN*. Pereira.
- Comision de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2001). Resolución CRA 151 de 2001 "Regulación integral de los servicios públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo".
- Departamento Nacional de Planeación. (20 de octubre de 2015). *Agua Normatividad*. Obtenido de DNP: <https://www.dnp.gov.co/programas/vivienda-agua-y-desarrollo-urbano/Paginas/Agua-Normatividad--.aspx>
- Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2012). *Plan nacional de adaptación al cambio climático*. Bogotá D.C.
- Dyszynski, J., Downing, T., & Takama, T. (30 de marzo de 2011). *Robust Decision Making: XLRM framework*. Obtenido de Strockholm Environment Institute: <https://www.weadapt.org/knowledge-base/adaptation-decision-making/xlrn-framework>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2007). *Cambio Climático 2007: Informe síntesis*. Ginebra: OMM y PNUMA.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). *Cambio Climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Ginebra: OMM y PNUMA.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). *Cambio Climático 2014: Informe síntesis*. Ginebra: IPCC.

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). *Cambio Climático 2014: Mitigación del cambio climático*. Ginebra: OMM y PNUMA.
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], Departamento Nacional de Planeación [DNP], Cancillería. (2015). *Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011 - 2100*. Bogotá D.C.: MADS.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales . (2014). *Modelación hidrológica*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2014). *Conceptos Básicos de Cambio Climático*. Obtenido de IDEAM: <http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas>
- Lerma, H. D. (2009). *Metodología de la investigación: Propuesta, anteproyecto y proyecto*. Bogotá D.C.: Ecoe Ediciones.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (2016). *Política nacional de cambio climático*. Bogotá D.C.: MINAMBIENTE.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo. (22 de julio de 2004). *Resolución 865 de 2004 "Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones"*.
- Ministerio de Desarrollo Económico y Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. (1999). *Programa de capacitación y certificación del sector de agua potable y saneamiento básico*. Sena Publicaciones.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS : Título B Sistemas de Acueducto*. Bogotá D.C.
- Naciones Unidas. (1992). *Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*.
- Naciones Unidas. (1998). *Protocolo de Kyoto de la conversación marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*.

- Narváez, L., Lavell, A., & Pérez, G. (2009). *La Gestión del Riesgo de Desastres: un enfoque basado en procesos*. Lima: PREDECAN.
- Ordoñez, J. J. (2011). *Cartilla técnica: Ciclo hidrológico*. Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- Organización Mundial de la Salud. (2015). *Agua, saneamiento e higiene: Informe 2015 del PCM*. Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/
- Organización Mundial de la Salud y Fondo de las Naciones Unidas. (2017). *Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene*. Ginebra: UNICEF.
- Pacheco, S., & Valdés, C. (2012). Efecto ambiental del derretimiento del ártico y impacto en el turismo. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 1-9.
- Rodríguez, M., & Mance, H. (2009). *Cambio climático: lo que está en juego*. Bogotá D.C.: Foro Nacional Ambiental.
- Thomas, S., Qin, D., & Gian, P. (2013). *Cambio Climático 2013: Bases físicas*. Cambridge: IPCC.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2016). *Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres: Una estrategia de desarrollo 2015-2025*. Bogotá D.C.: UNGRD.
- Valencia-Quintero, J., Formi, L., Castaño, J. M., Purkey, D., Escobar, M., Sabas, C. A., . . . Jaramillo, M. F. (2013). *Aplicación de la metodología XLRM para la definición de escenarios de modelación en WEAP: Una herramienta para la construcción de modelos de cambio climático*. Pereira.